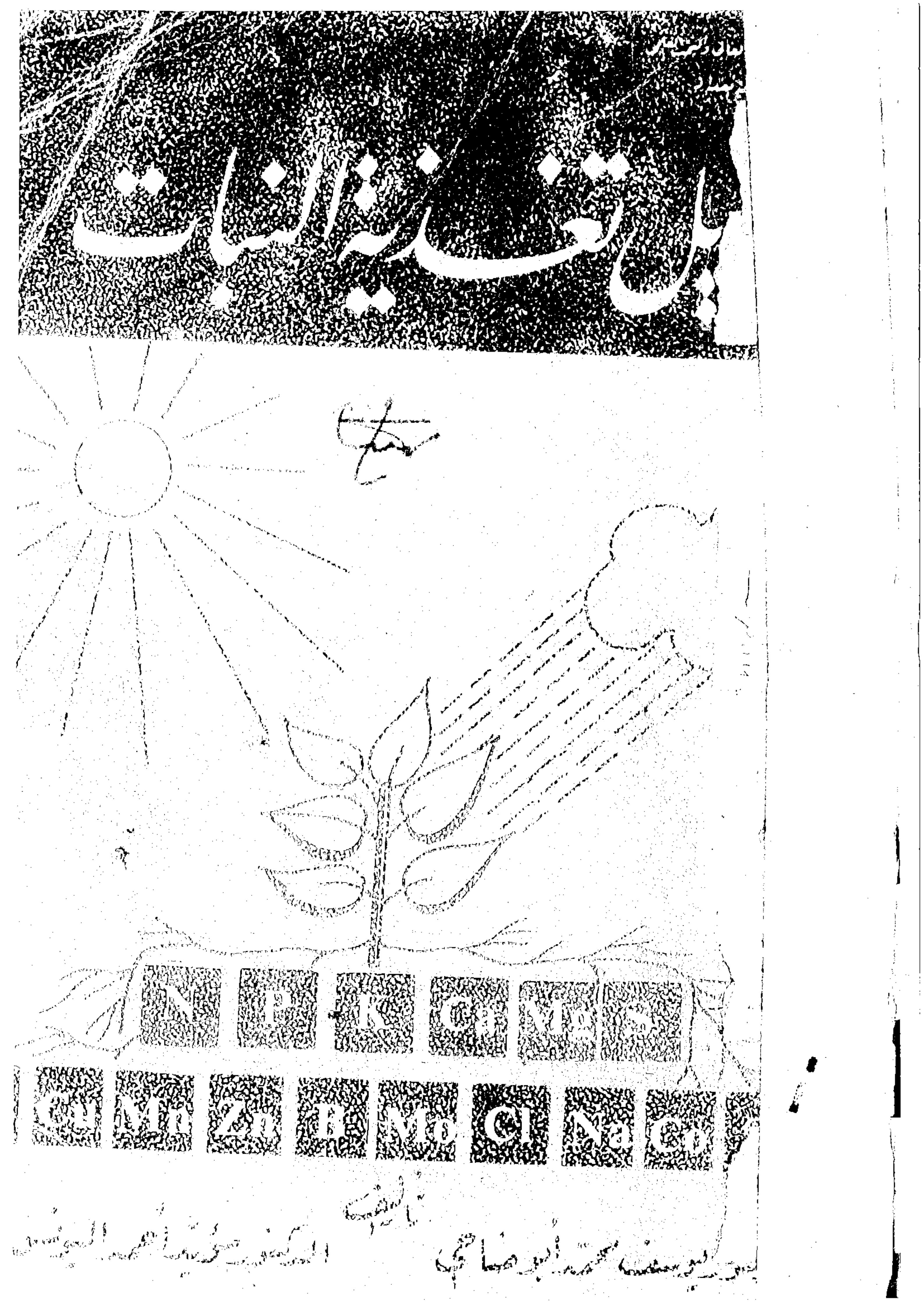
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بغداد

دليل تغذية النبات

تأليف

الدكتور يوسف محمد أبو ضاحي
الدكتور مؤيد أحمد اليونس

١٩٨٨


يل تغذية النبات
N P K Ca Mg S
Cu Mn Zn B Mo Cl Na Co
تأليف
الدكتور يوسف محمد أبو ضاحي
الدكتور مؤيد أحمد اليونس

دليل تغذية النبات

المحتويات

بسم الله الرحمن الرحيم

التقـديم

ان القرار الحكيم الذي اتخذته قيادة الحزب والثورة بتعريب التعليم الجامعي دفع العديد من ابناء وطننا الغيارى الى ضرورة الاسهام في دعم هذا القرار القومي لانجاحه سواء في حركة الترجمة أو التأليف أو الاعداد وذلك لربط حاضر أمتنا المجيدة بماضيها التليد ففيها نشأت أولى الحضارات الانسانية ومنها انتقلت مختلف علوم الحياة الى شتى بقاع الارض .

إن تعريب التعليم الجامعي يعد بمثابة نافذة كبيرة مشرقة ومفتوحة يطل منها ابناء وطننا للوقوف جليا لرؤية آخر ماتوصل اليه العقل البشري في الدول المتقدمة من تطور في مختلف المجالات والاطلاع عليها عن كثب ونقل ما يلائمنا منها وبالتالي دعم للقرار السياسي وللمسيرة العلمية لأبناء العروبة بما يخدم الانسان ويطوره ويسهم في تنفيذ وقيادة المشاريع التنموية الجريئة والعملاقة في سائر الاقطار العربية . وقد ظهرت ثمار هذا القرار في عديد من الكتب المنهجية والمساعدة التي هي الآن في متناول أخواننا الاساتذة الافاضل وأبنائنا الطلبة الأعزاء في جامعات ومعاهد القطر . ويأتي كتاب « دليل تغذية النبات » ليضيف ثمرة أخرى الى ثمرات القرار ومساهمة فيما يبذل من جهود في تعريب علوم النبات .

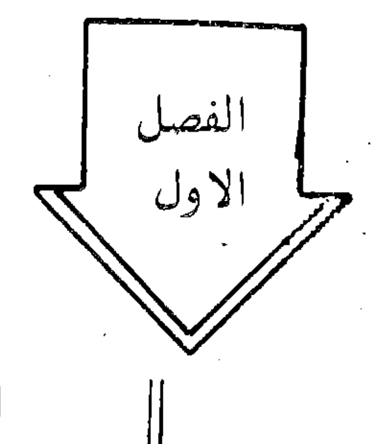
ان اختيارنا لإعداد هذا الكتاب جاء حرصا منا لأهميته بالنسبة لطلبة الدراسات الاولية والدراسات العليا وكل العاملين في المجال الزراعي وخاصة لطلبة وقاية النبات والتربة والمحاصيل والبستنة وقد راعينا إدخال فصل جديد لم يسبقنا اليه أحد من قبل ألا وهو علاقة التغذية المعدنية في مقاومة النباتات للأمراض النباتية والآفات الزراعية الضارة الاخرى .

ولا يسعنا هنا الا ان نقدم جزيل شكرنا الى كل من ساهم في إخراج هذا الكتاب ونخص منهم بالذكر الدكتور عبدالعظيم كاظم محمد المقيم العلمي/ كلية الزراعة/ جامعة الموصل لما بذله من جهد واضح ومتميز ومن ملاحظات قيمة كان

لها اكبر الأثر في اخراج هذا الكتاب بصيغته الحالية . كما نعرب عن شكرنا وامتناننا لجامعة الموصل وكافة الاخوة العاملين في مطبعة جامعة الموصل لما بذلوه من جهود مضنية ومشكورة في انجاز طباعة الكتاب .

ونرجو ان نكون قد وفقنا وان نكون قد أدينا ولو جزء يسير من واجبنا في المساهمة في عملية تعريب التعليم الجامعي في القطر ، واننا على أتم الاستعداد لتقبل اي أقتراح هادف وبناء أو أي انتقاد لغرض تطوير هذا الكتاب من قبل زملائنا الاساتذة الافاضل والله الموفق .

المؤلفان ١٩٨٧



العناصر الغذائية للنبات

1. 1 ـ المقدمة :

يختص علم تغذية النبات (Plant nutrition) بدراسة كل العمليات التي لها علاقة بكيفية حصول النبات على احتياجاته من العناصر الغذائية المختلفة وكيفية امتصاصها وتتبع دخولها من بيئة النبات (محلول التربة والجو) الى داخل السايتوبلازم والفجوة العصارية Cell sap (العصير الخلوي) ودراسة الاراء والفرضيات والنظريات المتعلقة بامتصاصها والعوامل المختلفة التي تؤثر على جاهزيتها في التربة وامتصاصها بواسطة جذور النبات وتشخيص اعراض نقصها او السمية بها وكيفية علاجها وكذلك دراسة السمية بالعناصر الاثرية (Trace elements) او النادرة . كما يهتم هذا العلم بدراسة الوظائف الفسلجية المختلفة للعناصر الغذائية وتوضيح دورها في حياة النبات .

كما يهدف علم تغذية النبات الى دراسة وتحسين طرق صناعة الاسمدة ودراسة اقتصاديات استعمالها وطريقة خزنها وموعد وكيفية اضافتها .

كما تشير الدراسات الحديثة الى دور التغذية المعدنية في مقاومة النباتات للامراض والحشرات .

مما تقدم تبين بوضوح العلاقة الوطيدة والارتباط الوثيق بين علم تغذية النبات والعلوم الاخرى والتي يأتي في مقدمتها علم التربة وعلم الكيمياء الحياتية وعلم فسلجة النبات .

تعتبر أهمية تغذية النبات فريدة في نوعها فهي ضرورية لأبقاء الحياة على سطح الكرة الارضية وبالتالي فهي على علاقة وثيقة بحياة وشؤون الانسان . كل

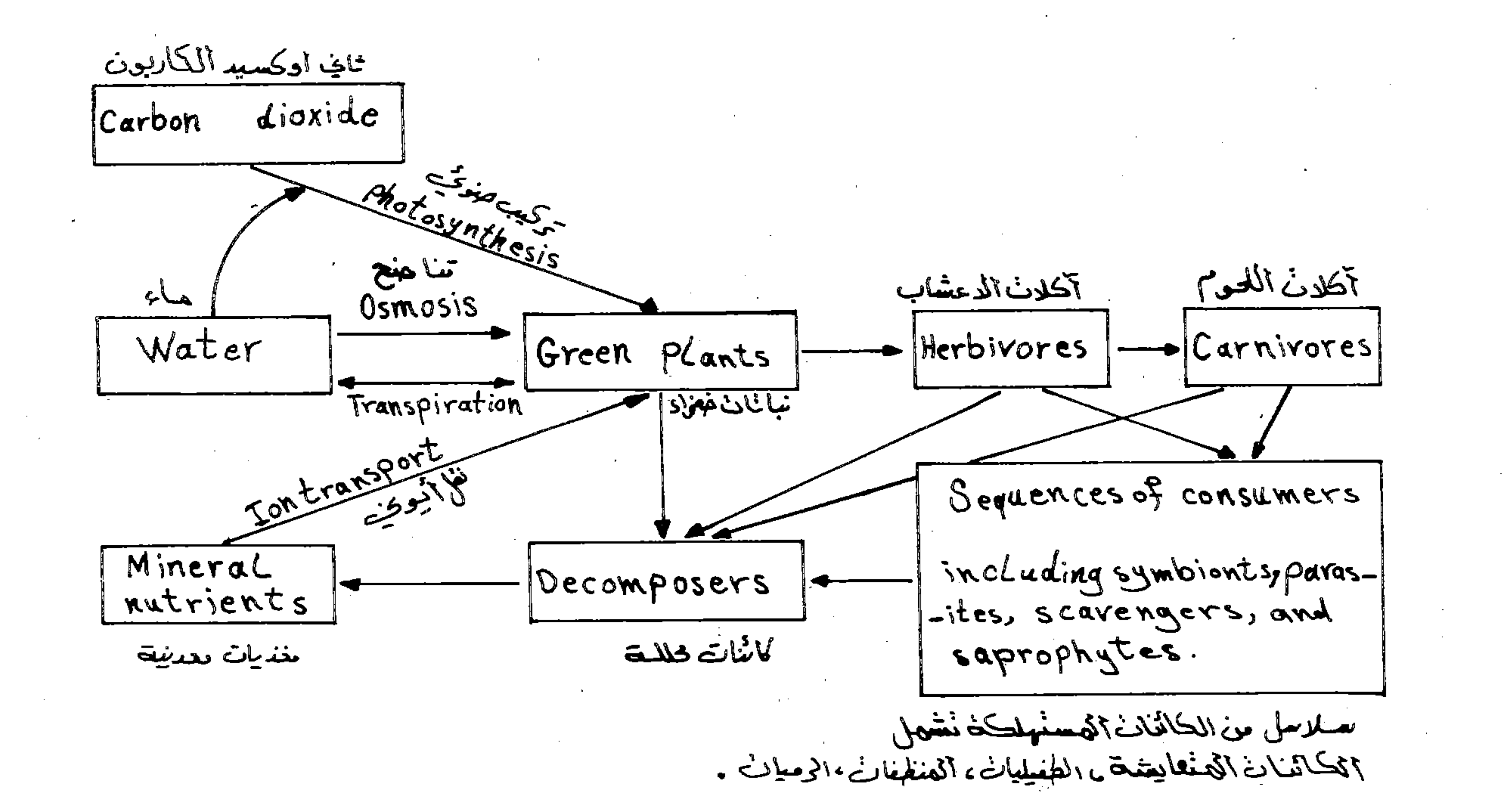
الاشياء الحية مكونة من ذرات العناصر المعدنية وتعتبر المعادن والصخور والمحيطات والهواء الجوي هي المخازن الاساسية والمصادر الاولية للعناصر المعدنية على الارض. فالصخور والمعادن تتحول الى تربة بعد تجويتها، المحيطات والبحار تتكون عنها البحيرات والجداول والانهار والترب وحتى الغلاف الجوي نفسه. هذه المواد البسيطة (صلبة، سائلة، غازية) هي عبارة عن المواد الخام والتي تجعل العالم الحي مناجم للعناصر والتي تتحول بدورها نتيجة عملية التكوين الى النباتات الصغيرة والكبيرة مثل الرز واشجار الخشب الاحمر العملاقة والتي قد يصل ارتفاعها الى اكثر من (100) م وبالطريقة ذاتها تتحول هذه المواد البسيطة الى الحيوانات وكذلك الى الانسان.

ومع ذلك ليس كل الاشياء الحية تشارك او تساهم في المنجم الابتدائي للمواد الخام للحياة، حيث ان النباتات الخضراء وبعض الاحياء المجهرية الدقيقة قادرة فقط على استخلاص مركبات بسيطة غير عضوية وايونات من البيئة المحيطة وعدم حاجتها للاعتماد على غيرها لصنع مركبات معقدة غنية بالطاقة والتي يجب ان تصنع او تمثل بواسطة كائنات حية اخرى. مثل هذه الكائنات المعتمدة على نفسها (Self-sufficient organisms) تسمى بذاتية التغذية (Autotrophic) على عكس غير ذاتية التغذية (Heterotrophic) والتي لا تتمكن من صنع غذائها بنفسها بل تعتمد على مواد عضوية جاهزة سبق تصنيعها بواسطة الاحياء ذاتية التغذية.

تعتبر النباتات الخضراء على اليابسة والنباتات والطحالب التي تعيش في المحيطات والبحار والبحيرات والانهار والتي تقوم بعملية التمثيل او التركيب الضوئي هي اهم الكائنات في عالمنا الحي والتي تقوم بالتحصيل الاولي للطاقة والعناصر الكيمياوية من المحيط الخارجي اي اكتساب وتحويل الطاقة الشمسية الى طاقة كيمياوية تستغلها هذه الكائنات لتأدية وظائفها الحيوية المختلفة.

نتيجة لنشاط هذه النباتات فإن الكاربون والهيدروجين والاوكسجين والنتروجين والفسفور والبوتاسيوم والكبريت والكالسيوم والمغنيسيوم وغيرها من العناصر الغذائية الاساسية الضرورية لحياتها تستخلص في البداية من المحيط غير العضوي ثم تدخل في بناء الخلايا والانسجة.

بعد هذا التحصيل المبدئي للمغذيات والطاقة الثابتة فإن العناصر الغذائية يجب ان تجد طريقها الى خلايا الكائنات المستهلكة والمحللة وآكلي الاعشاب ومن آكلي الاعشاب الى آكلي اللحوم ثم بواسطة الكائنات المحللة ترجع مرة اخرى الى المخازن غير الحية للمواد غير العضوية كما يتضح ذلك من الشكل (١ ــ ١).



شكل (1-1) العلاقة بين النباتات الخضراء والكائنات الحية الاخرى عن : (Epstein, 1972)

والخلاصة ان العالم الحي كله يعتمد على النباتات القائمة بالتركيب الضوئي وعلى قدرتها في تحويل أو توجيه حركة المواد غير العضوية عند الحدود الفاصلة مابين خلاياها والمحيط الخارجي والتي هي في تماس دائم ومستمر معه.

ويظهر في الشكل أن عودة غاز ثاني اوكسيد الكربون الى الغلاف الجوي (Atmosphere) المنطلق من تنفس الكائنات الحية او المنطلق نتيجة الاحتراق للمادة العضوية من المصانع او البيوت غير موضحة. كما ان غاز الاوكسجين المتحرر نتيجة عملية التركيب الضوئي او المأخوذ في عملية التنفس للكائنات الحية غير مشار له في هذا الشكل.

2.1 ـ نبذة تاريخية :

أهتم الانسان منذ الأزل بمحاولة حل مشاكل الزراعة والنهوض والتقدم بالفن الزراعي لكي يغطي احتياجاته من غذاء وكساء. وقد قامت حضارات عريقة مثل حضارة وادي الرافدين وحضارة وادي النيل والحضارة الاغريقية والحضارة الرومانية وفي الهند الصينية. ولقد تم الحصول نتيجة ممارسة العمل الزراعي على الكثير من المعلومات عن طريق المشاهدة والخبرة العملية فكان لسكان هذه المناطق المهارة الكافية في استخدام الاسمدة واتباع الدورات الزراعية والأخذ بمباديء الري ويعتبر ذلك من العوامل التي تؤدي في مجموعها الى المحافظة على خصوبة التربة. ففي وادي الرافدين نشأت أولى الحضارات الانسانية وأقيمت في بابل الحدائق المعلقة وهي احدى عجائب الدنيا السبع ولا يزال متبعا حتى الآن في مناطق زراعة الرز في المشخاب طريقة زراعة التطياب والمعروفة لدينا الآن بالطريقة المبتلة حيث تعمل حواجز قوية عند الفيضان لحسر المياه فيترسب مابها من طين أي تكون مصدراً غنياً بالموادالمغذية لنبات الرز وهذه هي نفس الطريقة المتبعة والتي ابتدعها الفراعنة لصيانة خصوبة التربة والمعروفة حتى الآن في جمهورية مصر العربية بطريقة ري الحياض وكذلك استعملوا السماد العضوي. وفي الهند أستعملوا منذ الازمان الغابرة الاسمدة الحيوانية. كما استعمل الصينيون واليابانيون مخلفات الانسان كسماد.

لقد تأخر تقدم وتطور علم تغذية النبات بسبب الاعتقادات العامة التي كانت سائدة في ذلك الوقت والتي كانت تلاقي قبولا لدى الكثير منهم وخاصة تلك التي

طرحت من قبل الفيلسوف الطبيعي اليوناني أرسطو Aristotle (384-322 B.G) والذي تبنى رأيا مفاده أن المادة مكونة من أربعة عناصر هي التربة ، الماء ، الهواء ، والناز .

إن آراء أرسطو ظلت سائدة الى أكثر من ألفي سنة أي حتى بداية القرن السادس عشر والذي يعتبر بداية العلم التجريبي الحديث .

إن شرف ارساء فكرة اجراء التحاليل والتجارب الكمية في علم تغذية النبات ترجع الى العالم الفيزياوي البلجيكي فان هلمونت J.B.Van Helmont (1577-1644) وفي تجربة من تجاربه الشهيرة اعتقد ان الماء هو مصدر مادة النبات . فقد وصف Gabriel and Fogel (1955) هذه التجربة كما يلي : ان كل مادة النبات تنشأ فقط من عنصر الماء فقد وضع 200 رطل من التربة المجففة في الفرن ثم شربها بالماء ووضعها في وعاء من الحديد وزرع فيها شتلة لنبات الصفصاف Willow زنتها خمسة أرطال وكان يسقي الشتلة بماء المطر وأحيانا حتى بالماء المقطر اذا ماكان ذلك ضروريا . وبعد مرور خمس سنوات وجد ان وزن الشتلة اصبح 169 رطلا وثلاث أونسات بالرغم من اهمال وزن الاوراق المتساقطة في المواسم السابقة.ولمنع اختلاط غبار الهواء الجوي بتربة الوعاء فقد غطى الوعاء بغطاء حديدي به عدة ثقوب لأتاحة الفرصة لأمكانية تبادل الغازات للنبات . وفي النهاية جفف تربة الوعاء في الفرن مرة اخرى ولقد وجد أن وزن التربة ظل ثابتا تقريبا حيث نقص فقط بمقدار اونسين ومن هنا بنى استنتاجه على ان الماء هو المصدر الوحيد الذي يبني منه النبات مادته الجافة .

وأجرى Leonardo da Vinici (1452-1519) تجربة مشابهة ولكنها لم تنشر ووجدت مدونة في ملاحظاته اليومية ، كما اشار الى ذلك Bodenheimer (1958) . كما اشار Russell (1961) بأن Robert Boyle (1627-1691) قد قام بأجراء تجارب مشابهة وتوصل الى نفس النتائج .

إن اهمية المادة المعدنية لنمو النبات قد أشار اليها الطبيب الانكليزي John Woodword (1665-1728) عندما ذكر ان معظم الماء الذي يمتصه النبات يرجع مرة اخرى الى الهواء الجوي الا أن أهمية الماء للنبات لاترجع الى الماء بحد ذاتها بقدر ما موجود به من مادة التربة والتي تدخل مع الماء فقد قام

بتنمية نبات النعناع Spearmint في اربعة اوعية في الاناء الاول ماء مقطر وفي الوعاء الثاني ماء من نهر التايمز وفي الاناء الثالث ماء بركة من حديقة هايد بارك وفي الاناء الرابع نفس ماء بركة الهايدبارك بعد خلطه بكمية من التربة الزراعية ووجد هذا العالم أن نبات النعناع قد نما بدرجة متزايدة مع ترتيب الاوعية السابقة أي من (1) الى (4) اي كلما زادت كمية التربة المختلطة مع الماء وبهذا فقد استنتج أن التربة وليس الماء هو مصدر مادة النبات الجافة .

وأوضح هذا العالم ان نقص حاصل النباتات التي تزرع في نفس التربة سنة بعد اخرى يرجع الى استهلاك مادة التربة ونصح بضرورة تبوير التربة (نيرونير) حتى تجدد مادتها والتي حسب اعتقاده تجلب مع ماء المطر .

اما Stephen Hales (1677-1761) فهو قس أنجليزي ويعتبر بحق رائد علم فسلجة النبات . فقد اصدر عام 1727 كتابا تضمن الكثير من الامور والنقاط الهامة كتحليل العصارة النباتية للخضروات وتقييم نتائجها احصائيا ، وقام بتحليل الهواء وعمل تقديرات كمية للماء الممتص والمفقود بعملية النتح ، وقاس مساحة الجذر المسؤول عن عملية الامتصاص وكذلك قياس مساحة الورقة القائمة بعملية النتح وقياس معدل سرعة امتصاص الماء في وحدة المساحة لكل من الجذور والاوراق . كما قام بأجراء عدة تجارب للضغط الجذري وكيفية قياسه . ولهذا لقب برائد علم فسلجة النبات. وتقديرا لجهود هذا العالم العظيم واعترافا بفضله في هذا المجال فأن الجمعية الامريكية لفسلجة النبات تمنح سنويا جائزة تحمل اسم هذا العالم الكبير .

ومن اهم انجازاته هو اشارته الواضحة الى أهمية الهواء الجوي في بناء مادة النبات عندما ذكر أن الهواء الجوي يشارك في بناء مادة النبات الا أن طبيعة هذه المشاركة ظلت مجهولة بسبب عدم المعرفة الحقيقية بمكونات الهواء وكذلك عن طبيعة نواتج الاحتراق .

غير ان هليز كان يعتقد كغيره بنظرية الفلوجستون Phlogiston والتي تنص على ان جميع المواد المحترقة مكونة من مركبات من الفلوجستون وهذه تتلاشى بعملية الحرق. وقد ظلت تلك الآراء سائدة حتى نهاية القرن الثامن عشر .

أما J.Priestley (1733-1804) فقد اكتشف الاوكسجين بتسخينه لاوكسيد الزئبق وبالرغم من ذلك فقد ظل طيلة حياته مواليا لنظرية الفلوجستون . وبالرغم من الصعوبات الكثيرة التي كان يواجهها لارتباط اعماله بنظرية كيمياوية خاطئة في اساسها وهي نظرية الفلوجستون فإن له اعمالاً قيمة في علم الكيمياء وعلم فسلجة النبات عندما ذكر ان الغاز الذي يخرج من النباتات الخضراء يشبه الغاز الناتج عن حرق اوكسيد الزئبق وبذلك فانه وضع الخطوة الاولى لمعرفة الاساس العلمي لعملية التركيب الضوئي .

وبالنسبة Jan Ingen-Housz (1730-1799) الفيزياوي الالماني فقد قضى معظم حياته في انجلترا وقد أعاد تجارب بريستلي ومن أهم اكتشافاته هو أشارته الواضحة الى أهمية الضوء للنبات ليتمكن من اخراج غاز الاوكسجين الا انه وكذلك بريستلي لم يشيرا الى دور غاز ثاني اوكسيد الكربون في عملية التركيب الضوئي .

كما ان Jean Senebier (1742-1809) (وهو قس وامين مكتبة وعالم في نفس الوقت) فقد أوضح ان كمية الاوكسجين الناتجة من عملية التركيب الضوئي تتناسب طرديا مع كمية غاز CO_2 المستهلكة من قبل النبات . بالطبع هو لم يستخدم تعبير CO_2, O_2 حيث كانت تسود فكرة نظرية الفلوجستون حيث افترض كسابقيه ان الضوء يختلط مع بعض المواد في الورقة الخضراء فيحدث تحلل للهواء المثبت (يقصد تحلل CO_2 الى dephlogisticated air يقصد به الان O_2) . وبالرغم من ان هذه الاراء تحمل في طياتها الكثير من الافكار والأبعاد الصحيحة لعملية التركيب الضوئي الا انها لم تفسر في حينها كذلك . وهذا يرجع الى سيادة نظرية الفلوجستون واعتقاد علماء الكيمياء وفسلجة النبات بها ، وعلى اية حال فإن هذه النظرية لم تدم طويلا وانتهت مع نهاية القرن الثامن عشر والذي تميز بثورة عارمة من الافكار ليس فقط في شؤون الدولة أو المجتمع ولكن في كل مجالات العلوم والمعرفة ايضا .

تتميز هذه الفترة بظهور علماء الكيمياء البحتة امثال العالم الفرنسي لافوازيه Antoine L.Lavoisier (1743-1794) وهو يعتبر بحق رائد علم الكيمياء الحديث وتعود اليه المقولة المشهورة « المادة لا تفنى ولا تستحدث » . وان دوره في تطور علمي المسلجة والكيمياء الحياتية لا يقل اهمية عن دوره في علم الكيمياء البحتة .

ثم جاء العالم الفرنسي Thedore de Saussure) (1767–1845) والذي يعتبر اول من حاول تطبيق اراء لافوازيه في الكيمياء في بحوث علم تغذية النبات كما يعتبر من رواد عصره والذي اتبع طرق التقديرات الكمية وقام بنشر العديد من البحوث الحاوية على التركيب المعدني لرماد العينات النباتية ويعتبر اول من اكتشف الاختيارية في الامتصاص حيث نمّى نبات اصبع الست Polygonum) (persicaria, Lady's thumb في محاليل مغذية محتوية على عنصر واحد او خليط من العناصر ولاحظ وجود اختلافات في كميات العناصر الممتصة ، كما يعتبر رائد طرح فكرة العناصر الضرورية للنباتات حيث ان بعضها غير ضروري . كما أشار الى أهمية العناصر المعدنية المأخوذة من التربة والتي ظلت لعشرات السنين مدار جدال ، كما بين اهمية غاز CO_2 للنبات خاصة في وجود اشعة الشمس .

ثم جاء العالمان الالمانيان Wiegmann (1789–1859) Carl S. Sprengel A.F. (1771–1853) حيث ايدا دى سوسير في ارائه وذلك فيما يخص أهمية العناصر المعدنية المأخوذة من التربة للنبات . فقد وجد Sprengel ان هناك ارتباطاً بين نمو النبات والعناصر الممتصة من التربة وقد ذكر ان التربة قد تبدو لنا بصورة جيدة ومن جميع الوجوه ومع ذلك فقد تكون غير منتجة بسبب غياب أو قص عنصر غذائي فيها . وهذه اشارة واضحة الى قانون العامل المحدد Law of" "Limiting factor ثم جاء العالم Jean-Baptiste Boussingault (1802–1887) الذي يعتبر واضع الاساس لعلم الزراعة وقام بدراسات عديدة في موضوع تغذية النبات والعلاقة بين التربة والنبات واشار الى أهمية وجود العناصر بصورة متوازنة وقام بدراسة تأثير كل من السماد والتربة على توازن العناصر كما قام بحساب الكمية المأخوذة من العناصر من التربة لكل هكتار .

وقد قام بنشر عدة بحوث حول تأثير العنصر او العناصر الغذائية على حاصل ونوعية الكثير من المحاصيل الزراعية . ويعتبر هذا العالم اول من اشار الى قيام النباتات البقولية بتثبيت النتروجين الجوي عندما ذكر ان البرسيم الاحمر والبزاليا عندما يزرعان في تربة خالية او معدومة من النتروجين الجاهز (available) فانها علاوة على اكتسابها على (C, H, O) فانها ايضا تكتسب الـ (N) في حين ان الشعير والشوفان المزروعان تحت نفس الظروف يفشلان في ذلك ولكنه مع ذلك لم يفسر كيفية حدوث هذه العملية .

ثم جاء العالم الالماني ليبك Justus Von Liebig (1803-1873) وهو كيمياوي ويعتبر اشهر علماء عصره على الاطلاق. في عام 1840 دعته الجمعية البريطانية لتقدم العلوم لالقاء محاضرات مما تمخض عنه اصدار كتاب تحت عنوان: «الكيمياء العضوية واستخداماتها في الزراعة وفسلجة النبات» "Organic chemistry in its application to agriculture and physiology

يعتبر ليبك الرائد الاول الذي استخدم مبادىء الكيمياء العضوية على نمو الخضراوات واثبت ان الهواء هو مصدر الكاربون للنبات، وبين ان النبات يأخذ الاوكسجين والهيدروجين من الماء، وأشار الى دور القواعد لمعادلة الاحماض المتكونة داخل النباتات، وتنبأ بانشاء مصانع للاسمدة الكيمياوية وكان اول من استعمل الاسمدة الفوسفاتية في التسميد وحضرها بنفسه من مسحوق العظام وقام بتطوير محلول غذائي اصطناعي واطلق عليه "Liebig Patent manure" واليه يعود الفضل في وضع قانون العامل المحدد "The Law of minimum" كما وضع النظرية المعدنية "Mineral theory of Fertilizers" والتي تشير الى أهمية العناصر المعدنية لنمو النبات وبذلك الغيت فكرة النظرية الدبالية (Humus theory) والتي تعود الى العالم Thaer (1812) والتي كان يفهم منها ان الدبال هو المصدر الوحيد لمادة النبات اما المادة المعدنية فهي فقط لتسهيل انحلال المادة العضوية دون ان تدخل هذه المواد المعدنية في تكوين جسم النبات على حد تعبيره وحسب اعتقاده. وبالرغم من الآراء القيمة والانجازات الكبيرة لهذا العالم فإن الكثير منها قد فسرت بطريقة خاطئة في حينها ومن الامثلة على ذلك مايلي:

1) هاجم آراء بوسنجول حول قدرة النباتات البقولية على تثبيت النتروجين الجوي.
2) اعترض على ان النبات لديه القدرة الاختيارية في امتصاص العناصر وافترض ان كل العناصر تمتص بنفس الطريقة او بنفس الكيفية وشبه ذلك كما لو نغمس قطعة من الاسفنج في وعاء به محلول ملحي فتمتص محتويات المحلول بدون تمييز.
3) وقع في الخطأ عندما أشار ان دور الصوديوم في النبات يكون متشابه ويمكن ان يحل كل منها مكان الآخر.
4) وقع في الخطأ عندما ذكر ان كل العناصر الموجودة في رماد العينة النباتية تعتبر ضرورية للنبات.
5) اخطأ عندما ذكر ان النبات يمكنه ان يمتص الامونيوم من الهواء الجوي.

غير انه بعد صدور كتابه انعكف ليبك ومعاونوه وطلابه لاجراء البحوث والتقديرات الكمية لمعرفة تركيب الكثير من مكونات المادة النباتية وبذلك

استطاع ليبك ان يصحح الكثير من آرائه الخاطئة والتي طرحت في حينها والموجودة في طبعته الاولى . كما ادخل الكثير من التحسينات والتعديلات على طرق التحاليل التي كانت سائدة وبذلك فقد حصل على نتائج صحيحة وقيمة فيما يخص التركيب الكيمياوي المعدني للنبات .

بعد صدور كتاب ليبك استمرت الدراسات والبحوث لعشرات السنين لمعرفة دور النتروجين الجوي في تغذية النبات وتوصل الكثير من الباحثين الى معرفة دور النباتات البقولية في تثبيت النتروجين الجوي الا ان الآراء بهذا الشأن ظلت متضاربة الى ان جاء العالمان الالمانيان (Hillriegel and Wilfarth) اللذان اعلنا في عام 1886 اكتشافهما لدور البكتريا في العقد الجذرية للنباتات البقولية والتي كانت قد اكتشفت من قبل العالم التشريحي الروسي Woronin دون ان يوضح او ان يتوصل الى أهميتها .

ولقد قام العالمان الالمانيان هلريكل وولفارث بتنمية نبات البزاليا في تربة معقمة للمقارنة فوجدا ان النبات المزروع في التربة المعقمة لم تكون عقد بكتيرية على جذوره كما توقفت النباتات عن النمو في حين تكونت عقد بكتيرية على جذور النبات المزروع في التربة غير المعقمة . وأشارت النتائج الى تثبيت النتروجين الجوي ونوها الى ضرورة تلقيح النباتات البقولية بالبكتريا التكافلية كما لاحظا ان النباتات غير البقولية غير قادرة على تثبيت النتروجين الجوي وتعتمد في ذلك على ما موجود من النتروجين فعلا في التربة او ما يضاف اليها من الاسمدة النتروجينية .

ثم بين بعد ذلك العالمان Kuber and Vertanin (1953) ان العقدة البكتيرية تحتوي على مادة تشبه هيموكلوبين الدم واخيرا استطاع العالم Wilson (1957) من توضيح كيفية حدوث عملية تثبيت النتروجين الجوي . وفي عام 1860 قام العالم التشريحي الالماني Julius Von Sachs بتحضير محاليل مغذية محتوية على العناصر الغذائية الكبرى والصغرى واستطاع ان ينمي فيها النباتات حتى مرحلة النضج . وكذلك تمكن Knop (1865) من تحضير محلول غذائي آخر . ومنذ ذلك الوقت انتشرت فكرة تنمية النباتات في المحاليل المغذية في علم تغذية النبات واصبحت طريقة مفضلة لدى الكثيرين .

لقد بدأ العاملون في مجالي تغذية النبات وخصوبة التربة في منتصف القرن التاسع عشر يتطلعون الى ايجاد طرق سهلة وسريعة تمكنهم من تقدير درجات خصوبة التربة وحاجتها للتسميد بالعناصر المختلفة كما درست عمليات تبادل القواعد على الاسطح الفعالة لغرويات التربة امثال Way (1850) .

وعرف كميات العناصر الجاهزة available عن طريق الاستخلاص بالمحاليل الكيمياوية المختلفة والتي منها محلول Konig (1930) و Morgan (1935) وغيرها وهناك على سبيل المثال لتقدير الفسفور تسع طرق وعلاوة على الطريقتين السابقتين تعتبر ايضا طرق Wilson, Bray 2, Bray 1 المعدلة من الطرق المهمة لتقدير هذا العنصر .

ثم اخذ النبات في الاعتبار لتقدير خصوبة التربة والتي منها طريقة نويباور Neubauer (1933) وطريقة متشرلش Mitscherlich (1935) وذلك لمعرفة حاجة التربة من عنصري الفسفور والبوتاسيوم وهذه الطريقة تعرف باختبارات التربة (Soil tests) . ثم درست احياء التربة لتقدير حاجتها للسماد باستخدام البكتريا او الفطر مثل بكتريا الازوتوباكتر (Azotobacter) المثبتة للنتروجين الجوي وهذه الطريقة تعرف بالطريقة الحيوية . ثم اقترح اخذ نقص العناصر الغذائية على النباتات النامية كدالة لحاجة الترب للتسميد ومن رواد هذه المدرسة Maum 1930 ، Thomas 1945 ,Hoffman 1941 اما Arnon و Hoagland عام 1950 فقد طورا محلولا غذائيا لدراسة تأثير نقص العناصر على نمو النباتات .

وفي عام 1954 اقترح Lundegardh فرضية التنفس الملحي او التنفس الانيوني Salt or Anion respiration ثم اقترح العالمان Bennet and clark عام 1956 فرضية دورةالفوسفاتيد Phosphatide cycle وفي عام 1966 اقترح العالمان Briggs and Robertson نظام الامتصاص الحر او السلبي passive absorption وقد أيدهما في ذلك العالم Kramer . ومنذ هذا التاريخ اقترح العالم Epstein فكرة الامتصاص الحيوي active absorption وكان العالم الالماني الفسيولوجي Van den Horest اول من وضع فرضية المواد او المركبات الناقلة او الحاملة Carriers غير ان ابشتاين قد اجرى عليها كثيرا من التعديلات ووضع تصميما حديثا لها . ثم جاء العالم Hodges عام 1973 والذي اقترح فرضية الضخ

الايوني Ionen pump والتي تعتبر عكس نظرية العالم الانجليزي P.Mitchel والمعرفة باسم (Chemiosnotic theory) والتي اخذ عليها جائزة نوبل عام 1979 والتي كان قد بدأها في عام 1966 .

3.1 ـ تعريف وتقسيم :

يقال ان عنصرا غذائيا مهما اي ضروريا للنبات اذا توفرت فيه احد او جميع الشروط الآتية : ـ

1 ـ ان يدخل مباشرة في تركيب مادة النبات او احد اعضائه .
2 ـ بدون هذا العنصر لا يستطيع النبات ان يكمل دورة حياته .
3 ـ نقصه يؤدي الى ظهور اعراض نقص معينة على النبات لا تزول الا باضافة هذا العنصر الغذائي المعين .
4 ـ لا يمكن ان يعوض العنصر الغذائي اى عنصر آخر في جميع وظائفه .
5 ـ يوجه التفاعلات الحيوية التي تحدث بداخل النبات في اتجاه مفيد او ان يزيل الاثر الضار الناجم عن التفاعلات الحيوية المختلفة التي يقوم بها النبات .

هذا وتقسم العناصر الغذائية الى مايلي :

(أ) مجموعة العناصر الغذائية الكبرى **Macronutrient**

وهي العناصر الغذائية التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة ويقدر محتوى مادة النبات الجافة منها بحدود 0.1 الى 6% (اي بحدود 1 الى 60 ملغم/ غم) وتشمل عناصر الكاربون ، الهيدروجين ، الاوكسجين ، النتروجين ، الفسفور ، البوتاسيوم، الكالسيوم ، المغنيسيوم والكبريت

(ب) مجموعة العناصر الغذائية الصغرى **Micronutrient**

وهي العناصر التي يحتاجها النبات بكميات قليلة ويقدر تركيزها في مادة النبات الجافة من 1 الى 200 جزء بالمليون وتشمل عناصر الحديد ، النحاس ، المنغنيز ، الزنك ، البورون والمولبدنم و (الصوديوم) و (الكلور) .

ويجب انَ يلاحظ ان تقسيم العناصر الى عناصر غذائية كبرى و صغرى ليس مبنياً على أهميتها للنبات ولكن فقط حسب الكمية كما اوضحنا سابقا فجميع العناصر الغذائية تتساوى في أهميتها للنباتات .

كما ان هناك نقطة جديرة بالملاحظة وهو ان تعبير العناصر النادرة او الاثرية قد يطلق على العناصر الغذائية الصغرى وهذا بالطبع تسمية خاطئة فصحيح ان العناصر الغذائية الصغرى هي عناصر نادرة ولكن ليس كل عنصر نادر هو عنصر غذائي مثل الكادميوم او الرصاص او الروبيديوم فهذه عناصر نادرة ولكنها ليست عناصر غذائية صغرى .

ومما تجدر الاشارة اليه ايضا ان هناك عناصر اخرى تسمى بالعناصر المفيدة او النافعة Beneficial elements وهي العناصر التي تكون مفيدة لنبات معين ولا يكون لها اي تأثير نافع او مفيد لنبات آخر مثل الكوبلت فهو عنصر مفيد للنباتات البقولية حيث انه ضروري لتكوين فيتامين B_{12} والضروري لدخوله مباشرة في تكوين العقد البكتيرية على جذور النباتات البقولية ولكن الكوبلت ليس له اي تأثير نافع على نباتات اخرى مثل النجيليات كالحنطة .

وبالمثل فإن للسليكون تأثير مفيد لنبات الرز في حين لم تثبت حتى الآن فائدته للنجيليات الاخرى . كذلك فإن الصوديوم له تأثير نافع لنبات البنجر السكري حيث يزيد نسبة السكر لهذا النبات .

كما نود ان نوضح هنا ان عنصري الصوديوم والكلور والتي وضعت بين اقواس ضمن مجموعة العناصر الغذائية الصغرى فانها تعتبر للنباتات الملحية من ضمن مجموعة العناصر الغذائية الكبرى حيث ان النباتات الملحية تحتاجها بكميات كبيرة جدا مقارنة بالنباتات الاخرى .

كما يمكن تقسيم العناصر الغذائية من ناحية وظائفها الفسيولوجية والحيوية الى المجاميع الآتية :

المجموعة الاولى: وتشمل عناصر الـ C, H, O, N and S
حيث تدخل هذه العناصر في تركيب مادة النبات العضوية كما تقوم بتنشيط الانزيمات .

المجموعة الثانية : وتشمل عناصر الـ P, B and Si
حيث تشارك هذه العناصر في انتقال الطاقة وتكوين مجاميع الاسترات .

المجموعة الثالثة : وتشمل عناصر الـ K, Na, Mg, Ca, Mn, and Cl
وهذه العناصر أهمية في الجهد الازموزي كما تساهم في عملية تكوين الانزيمات والبروتينات .

المجموعة الرابعة : وتضم عناصر الـ Fe, Cu, Zn and Mo
حيث تعمل هذه العناصر على انتقال الالكترونات اي تتدخل في عمليات الاكسدة والاختزال التي تحدث بداخل النبات .

وهناك مجموعة اخرى من العناصر تتبع جميعها العناصر النادرة وهي ليست عناصر غذائية بمعنى انها لا تقع ضمن مجموعتي العناصر الغذائية الكبرى او الصغرى ولكن قد يكون لها تأثير مفيد على بعض انواع النباتات اذا وجدت بتراكيز منخفضة في التربة او في النبات او في الهواء الجوي ولكن الصفة السائدة لهذه العناصر هو التأثير السمي حتى لو وجدت بتراكيز قليلة في النباتات ولا تكون هذه العناصر فقط سامة للنباتات بل قد تكون سامة للحيوانات التي تتغذى على هذه النباتات كالاعلاف الخضراء او تكون سامة للانسان اذا ما تغذى على هذه النباتات .

وتشمل هذه العناصر النادرة عناصر الكروم ، الفلور ، البروم ، اليود ، الالمنيوم ، النيكل ، الفناديوم ، السلينيوم ، الليثيوم ، الزرنيخ ، الباريوم ، الكاليوم ، السترونيوم ، الزئبق ، الرصاص ، الكادميوم والتيتانيوم .

4.1 ـ الوظائف العامة :

كما بينا سابقا فإن عناصر الكربون والهيدروجين والاوكسجين والنتروجين والكبريت تدخل في تكوين المادة العضوية للنبات كالكاربوهيدرات والدهون والبروتينات الكاربون والاوكسجين بدرجة رئيسية من مكونات مجموعة الكربوكسيل ، والهيدروجين والاوكسجين تدخل في عمليات الاكسدة والاختزال . كما ان النتروجين على صورة $(N^{+\pm}, NH^{-}, NH_2^{-})$ والكبريت على شكل (SH) يشتركان في عمليتي الاكسدة والاختزال . ومن هنا يتضح ان العناصر الغذائية السابقة علاوة على دخولها في تكوين المادة العضوية للنبات فانها تعمل كمنظمات في التفاعلات الحيوية والكيمياوية الاولية التي يقوم بها النبات .

إن تمثيل الكاربون في عملية التركيب الضوئي لغاز CO_2 يطلق عليها عملية الـ Carboxylation وعملية فصل غاز CO_2 من مركباتها يطلق عليها عملية الـ Decarboxylation . كما يحدث تحرر غاز CO_2 من حامض الماليك Malic acid لتكوين حامض البايروفك Pyruvic والمحفز في هذه العملية هو انزيم الماليك malic enzyme acid ومساعد الانزيم هو $NADP^+$ وكما يلي :

$$NADP^+ + \underset{COOH}{\underset{|}{\overset{\overset{\boxed{COO^- + H^+}}{|}}{\overset{CH_2}{\underset{|}{C=O}}}}} \longrightarrow \underset{COOH}{\underset{|}{\overset{CH_3}{\overset{|}{C=O}}}} + CO_2 + NADPH + H^+$$

شكل (2-1) عملية تحرر CO_2 بتفاعل Decarboxylation
عن : (Mengel and Kirbky, 1982)

في هذا التفاعل تحررت ذرتان من الهيدروجين العائدة الى حامض الماليك . واحدة منها استعملت في اختزال مساعد الانزيم $NADP^+$ (الصورة المؤكسدة) الى NADPH (الصورة المختزلة) والاخرى تحررت على شكل H^+ بروتون .

إن هذا المثال يوضح اشتراك ذرة النتروجين في العملية الانزيمية لفصل غاز CO_2 من حامض الماليك حيث ان الانزيمات ومساعدات الانزيمات تحتوي على النتروجين . كما ان مجموعة الـ SH يمكن ان تدخل في عمليتي الاكسدة والاختزال سواء في النظام Cysteine او في الكلوتاثيون (Glutathione) والذي هو عبارة

عن ببتيد (Peptide) ثلاثي يتكون من الاحماض الامينية الثلاث الآتية وهي السستين Cysteine ، الكلايسين Glycine والكلوتاميك Glutamic والمجموعة S–S منتشرة في البروتين وهي تعمل على تثبيت بناء البروتين .

اما العناصر (K, Na, Ca, Mg, Mn, Cl) فيمكنها القيام بوظائف غير متخصصة كحفاظها على الجهد الازموزي (Osmotic potential) للخلايا النباتية او المحافظة على موازنة الايونات داخل الفجوة العصارية للنبات . غير أن هذه العناصر تقوم بالدرجة الاساس بتنظيم الانظمة الانزيمية enzyme systems وتعتبر عناصر الـ (K, Mg, Mn) هي الاكثر أهمية في التخصص في هذا المجال . ويعتبر البوتاسيوم متخصصا للانزيمات المهمة في عملية تكوين البروتين وانفصاله من الرايبوزوم (Evans and Sorger 1966) والمنغنيز يلعب دورا مهما في دورة كربس (Krebs cycle) . اما المغنيسيوم فهو يربط بروتين الانزيم مع مجموعة البيروفوسفات العائدة الى المركب ذو الطاقة ATP (Adenosine triphosphate)

وبهذه الكيفية تحصل النباتات على الطاقة اللازمة لها لاجراء الكثير من وظائفها الحيوية المختلفة كما يتضح من الشكل التالي :

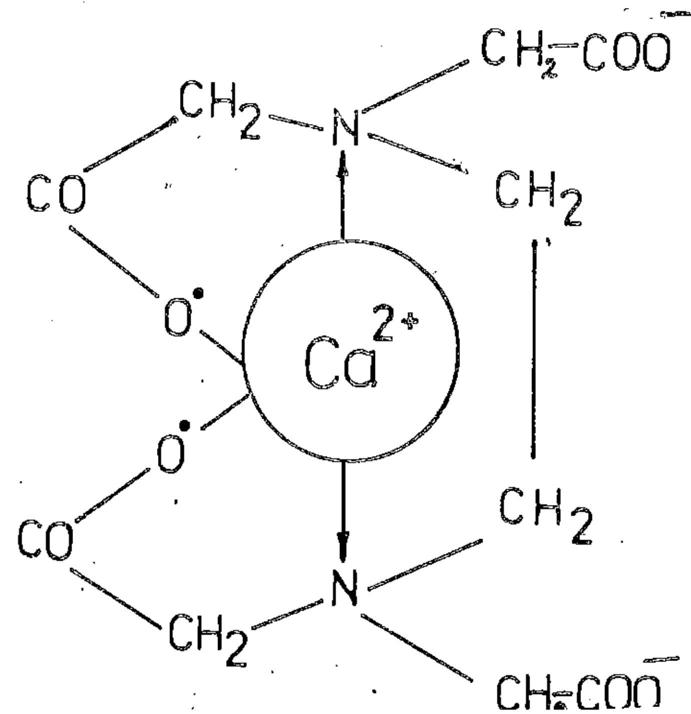
$$\text{ADENOSINE}-O-\underset{\underset{O^-}{\|}}{\overset{OH}{\overset{|}{P}}}-O\sim\underset{\underset{O}{\|}}{\overset{O}{P}}-O\sim\underset{\underset{O}{\|}}{\overset{O}{P}}-OH$$

(Enzyme complex — N — Mg, Mg bonded to the O of the second and third phosphates)

شكل (1-3) يوضح دور المغنيسيوم في تنشيط الانزيمات المعتمدة على الطاقة .
عن : (Mengel and Kirbky, 1982)

إن كلاً من الفوسفات والبورات والسليكات تكون استرات مع مجاميع الهيدروكسيل الخاصة بالمركبات العضوية وخاصة السكريات .

كما ان بعض العناصر الاخرى توجد على شكل مركبات مخلبية (Chelate Componds) داخل النبات حيث تكون ذرة العنصر المعدني المخلبة هي المحاطة بمواد عضوية مرتبطة برابطتين او اكثر لتكوين تركيب حلقي حول العنصر كما يتضح من الشكل (1-4) التالي .



شكل (4-1) عملية تخلب الكالسيوم بواسطة الـ EDTA (Ethylene diamine tetra acetic acid) عن : (Mengel and Kirbky, 1982) .

إن تكوين المركبات المخلبية مع العناصر الغذائية الصغرى تعتبر على درجة كبيرة من الأهمية فبالرغم من أن هذه المركبات المعقدة تكون ثابتة اي تحميها من الانفراد الى محلول التربة وبالتالي تكون غير معرضة لعمليات الترسيب خصوصا تحت الظروف القاعدية كما هو الحال في الترب العراقية فانها سريعة الذوبان في الماء وتستفيد النباتات باكبر قدر من العناصر الغذائية الصغرى المضافة للتربة على هيئة المركبات المخلبية . اما اذا اخذت هذه العناصر في صورة املاح فانها تكون عرضة وبسرعة لعمليات الترسيب ولا يمكن للنباتات الاستفادة منها .

وتستخدم حاليا المركبات المخلبية على نطاق كبير خاصة في تسميد اشجار الفاكهة والبساتين ومحاصيل الخضر . ويتوقع ان تلقى هذه المركبات اهتماما واسعا من العاملين في المجال الزراعي بعد ان تنبه الباحثون الى أهمية العناصر الغذائية الصغرى في قطرنا المناضل وبالفعل فهناك مشروع ضخم في الخطة الخمسية 1990/1985 حول العناصر الغذائية الصغرى .

كما ان للمركبات المخلبية التي تتواجد طبيعيا في النبات أهمية كبيرة حيث ان ذرة الحديد الحرة تدخل في تركيب مجموعة الهيم (Haem) وان المجموعة التكميلية للهيم (Prosthetic group) تدخل في تكوين العديد من الانزيمات ومنها (Cytochrome oxidase , peroxidase, catalase) . إن الحديد الموجود في

مجموعة الهيم يمكن ان يتغير تكافؤه من الحديد الثنائي الى الحديد الثلاثي وبالتالي يمكن من انتقال الالكترونات والتي تعتبر الوظيفة الرئيسية للمجموعة التكميلية وكما يلي :

$$Fe^{2+} \rightleftharpoons Fe^{3+} + e^{-}$$

وبعبارة اخرى في حاله الاختزال (اي عندما يكون الحديد ثنائي التكافؤ (Fe^{2+})) فإن هذه المجموعة تسمى بالهيم (Haem) اما في حالة الاكسدة (اي عندما يكون الحديد ثلاثي التكافؤ (Fe^{3+})) فتدعى هذه المجموعة بالهيمين (Haemin) ، كما ان ذرات Co, Mn, Zn, Mo, Cu قد تسلك في وظيفتها نفس سلوك ذرات الحديد في الانظمة الانزيمية اي نتيجة تغير تكافؤها فانها تتمكن من نقل الالكترونات وبالتالي فانها تتمكن من القيام بعمليات الاكسدة والاختزال وتسيير التفاعلات الحيوية التي يحتاج اليها النبات .

ومن المركبات المخلبية المهمة الاخرى هي دخول المغنيسيوم في تكوين جزيئة الكلوروفيل غير ان المغنيسيوم هنا لايغيّر تكافؤه اي انه لا يستلم كما انه لا يعطي الكترونات . غير ان للكلوروفيل وظيفة مهمة وأساسية في حياة النبات حيث ان جزيئة الكلوروفيل قادرة على اطلاق (Emission) الكترون عند تعرضها للضوء وهذه هي الفكرة الاساسية لعملية التركيب الضوئي .

هذا وتمتص العناصر الغذائية الصغرى اذا ما اضيفت على هيئة مركبات مخلبية بواسطة جذور النباتات او اوراقها على هذه الصورة وهي اما ان تدخل جميعها الى داخل النبات او ان يحصل لها انشطار على سطح الجذر ويمتص العنصر الغذائي فقط دون ما به من المادة العضوية

5.1 ـ التركيب الكيمياوي غير العضوي للنبات :

1.5.1 ـ الماء Water

يعتبر الماء هو الوسط العام الذي تحدث فيه جميع الانشطة في الخلايا . ويمكننا ان نميز بين الكائنات التي تعيش على اليابسة وبين تلك الكائنات المائية التي تعيش في البرك والمستنقعات وكذلك في الانهار والبحار او المحيطات ولكن من الناحية الفسيولوجية فإن كل الكائنات الحية تعتبر كائنات مائية وان خلاياها تقوم بوظيفة ما عند توفر الماء فقط والا عجزت هذه الكائنات عن القيام بوظائفها في حالة غياب الماء .

وعندما يكون الامداد المائي قليل كما هو الحال في الصحراء فإن الكثافة العددية للكائنات الحية بما فيها النباتات والحيوانات تكون منخفضة كثيرا ، وتكون حياة النبات بصورة افضل واكثر في مناطق الغابات حيث يزيد المعدل السنوي لسقوط الامطار عن 1000 ملم .

تعيش النباتات المائية مغمورة بالماء اما على اليابسة فإن جذور النبات هي الموجودة في الوسط المائي والذي يمثل هنا محلول التربة والمحتوي على املاح وعناصر مغذنية في صورة ايونية ذائبة في الماء صالحة للامتصاص بواسطة جذور هذه النباتات . كما يلاحظ في الاشجار الشاهقة الارتفاع تحصل على حاجتها من الماء وهذا يمكن تفسيره او تعليله بأنه لابد من ان هناك ميكانيكيات خاصة تمكن هذه الاشجار من الحصول على حاجتها من ماء التربة .

كما يلاحظ ان مادة النبات الطازجة (Fresh weight) تحتوي على اكثر من 75-90% ماء اما الانسجة غير المنشطة في البذور السابتة او الميتة كما هو الحال في الخشب القريب من قلف ساق الاشجار فانها تحتوي على كمية اقل من الماء .

ومما تجدر الاشارة اليه ان عملية انبات البذور لا يمكن ان تحدث الا بعد تشربها بكمية معينة من الماء والتي تعمل على تمزيق او اضعاف اغلفة البذور الصلبة لتمكين الرويشة والجذير من الخروج منها كما ان عملية الانبات نفسها تحتاج الى عناصر غذائية وهذه تكون موجودة في داخل البذرة والتي لولا اذابتها بالماء لما تمكنت هذه البذرة من الانبات .

ونتيجة لارتفاع نسبة الماء في النباتات الحية فإن نسبة عنصري الهيدروجين والاوكسجين تفوق نسب بقية العناصر الاخرى والداخلة في تركيب مادة النبات الحية . والسؤال المطروح هو ما هي الاسباب التي تجعل الماء ان يكون الوسط السائد على بقية السوائل الاخرى او الغازات او المواد الصلبة والضرورية لكل الكائنات الحية .

لقد تم تناول هذا الموضوع بالتفصيل في علم فسلجة النبات بواسطة الكثير من العلماء والتي تجعل الماء هو الوسط الملائم والسائد وذلك لتمتعه بصفات فريدة منها مايلي : ـ

1) لسيادته او وفرته على الارض حوالي 1.25×10^{24} غم وهذه الكمية تكون كافية لطبقة مقدرها 2.5 كم في العمق اذا ما أمكن تصور انتشارها بالتساوي على سطح الكرة الارضية .

2) درجة الحرارة السائدة على معظم سطح الارض فإن الماء يكون سائلا ذو ديناميكية مناسبة لمختلف الانشطة الكيمياوية الضرورية للحياة . في حين تكون الغازات اكثر ديناميكية والمواد الصلبة تكون اكثر صلابة بحيث تصبح غير ملائمة للانشطة الكيمياوية والحيوية للكائنات الحية .

3) القدرة الكبيرة للماء تجعله يستخدم كمنظم للحرارة حيث تكتسب او تنفذ كميات كبيرة نسبيا من الحرارة لكل غرام واحد من الماء مقارنة ببقية السوائل او الغازات الاخرى حيث ان الغرام الواحد من الماء يكتسب او يفقد من 500–600 سعرة حرارية وهذه الخاصية على درجة كبيرة من الاهمية بالنسبة للكائنات للاسباب الآتية :

أ ـ إنها تمد بأقصى كمية من التبريد لكل وحدة فقد من الماء .

ب ـ تقلل الفقد من الماء .

4) ارتفاع الشد السطحي للماء : وهذه تعتبر صفة هامة اخرى للماء حيث تعمل على حفظ الجوانب التي توجد عليها الخلايا الرطبة الملاصقة للهواء كما إن هذه الصفة تقوى تثبيت الاغلفة المائية حول حبيبات التربة وذلك عندما يزداد الماء ويملأ الفراغات الموجودة بعد عمليات الري أو سقوط الامطار .

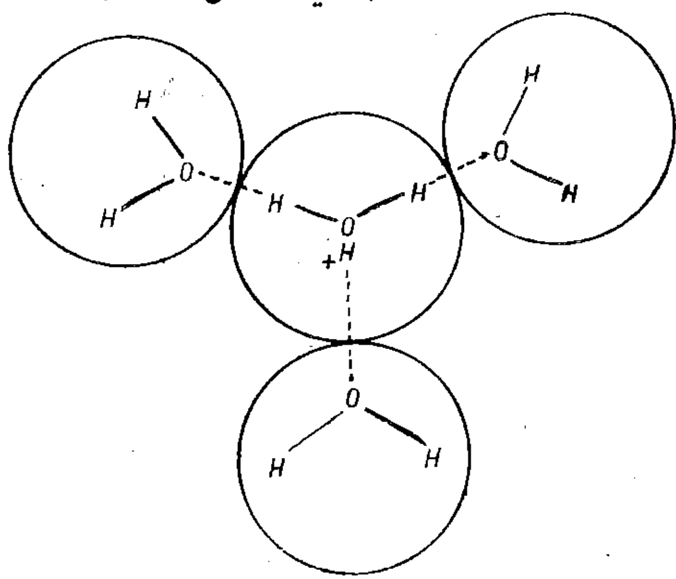
5) يعتبر الماء افضل المذيبات : حيث ان هناك قليل من المواد ذائبة بدرجة ما في الماء ومعظم المواد ذات الاهمية البيولوجية تكون ذائبة في الماء بدرجة كبيرة وهذا يعتبر عامل بالغ الاهمية بالنسبة للتغذية المعدنية للنبات حيث تكون الاملاح غير العضوية ذات درجة ذوبان عالية في الماء . ويعتمد نمو النباتات على الحركة المستمرة والثابتة من العناصر المعدنية خلال الخلايا النباتية ولا يوجد مذيب آخر حتى وقتنا هذا غير الماء للقيام بهذه الوظيفة وحمل أو نقل أيونات العناصر الغذائية من محلول التربة عبر الجذور الى مختلف أعضاء النبات .

6) نظرا لان لزوجة الماء تكون قليلة جدا مقارنة ببقية السوائل الاخرى فهذا يعمل على تسهيل انتشار جزيئات الماء حاملا معه مختلف ايونات العناصر الغذائية عبر القنوات الضيقة للاوعية التي يمر الماء خلالها .

جدول (1-1) يبين المحتوى المائي لنباتات مختلفة وأعضائها معبرا عنها كنسبة مئوية للوزن الطري : (Mengel and Kirkby, 1982)

مادة النبات الخضراء الحديثة السن	90-95
الجذور الحديثة السن	92-93
الاوراق القديمة	75-85
القش لمحاصيل النجيليات بعد النضج	15-20
الحشيش المجفف للعلف	15
بذور النجيليات	10-16
بذور السلجم	7-10
ثمار الطماطة	92-93
البرتقال (ثمرة)	86-90
التفاح (ثمرة)	74-81
الموز (ثمرة)	73-78
درنة البطاطا	75-80
جذور البنجر السكري	75-80

وكثير من الصفات الفريدة للماء تعود الى وجود الآصرة الهيدروجينية (H-bond) ذات الرابطة المنخفضة الطاقة والتي تكون فيها ذرات الهيدروجين جسرا او قنطرة مع ذرات الاوكسجين ونتيجة لهذه الرابطة فإن جزيئات الماء مرتبطة مع بعضها بصورة هشة كما في الشكل (1-5) .



شكل (1-5) يبين الآصرة الهيدروجينية للماء .

حيث تمثل النقاط الآصرة الهيدروجينية بين جزيئتين من الماء وتكون الطاقة المحتاج اليها في كسر هذه الآصرة هي التي يرجع اليها السبب في ثبات الماء والذي ينعكس في مثل هذه الصفات التي تعود الى ارتفاع الحرارة الكامنة للتبخر وكذلك لارتفاع الشد السطحي .

2.5.1 ـ المادة الجافة Dry matter

عند تجفيف مادة النبات الطازجة (Fresh) على درجة حرارة 70 مئوية لمدة 24-48 ساعة فإن المادة الجافة المتبقية تصبح بدرجة تقريبية من 10-20% وفي المتوسط 15% من الوزن الاولي الطازج او الطري (Fresh Weight) . وتحسب نتائج التحليلات الكيمياوية للمادة النباتية في المعتاد على اساس الوزن الجاف وليس على اساس الوزن الرطب حيث أن الوزن الرطب يكون عرضة للتغيير بتغير الوقت اليومي وكمية الرطوبة المتيسرة في التربة وشدة النتح والتي تتوقف بدورها على درجة الحرارة وسرعة الرياح وحتى الرطوبة النسبية للهواء الجوي المحيط بالنبات .

كما إن الوزن الرطب يتوقف على عوامل اخرى مثل نوع النبات وعمره ونوع العضو النباتي (جذور ، اوراق ، سيقان ، ازهار ، بذور ، او اثمار) . هذا وغالبا ماتكون العناصر الثلاثة وهي الكاربون والاوكسجين والهيدروجين أكثر من 90% من وزن المادة الجافة لمعظم النباتات .

أن الجدول رقم (2-1) يوضح ان نبات الذرة الصفراء يحتوي على هذه العناصر بنفس النسبة التي توجد مرتبطة في الكاربوهيدرات (CH_2O) وهذا انعكاس للحقيقة ان كتلة الوزن الجاف للنباتات تكون كنتيجة لجدار الخلايا التي تتكون اساسا من السليلوز كمثال لذلك في مادة الكربوهيدرات المعقدة ويحيط بجدار الخلية السايتوبلازم والذي يمثل المجموع الكلي للبروتينات وبعض المشتقات الكيمياوية الاخرى التي تخلق نظام الحياة للخلية .

وعلى أساس الوزن فإن السايتوبلازم واحتواءاته غير الحية مثل الفجوات تؤدي الى تكوين نسبة صغيرة من المادة الجافة في النباتات .

وتتكون المادة الجافة من شقين :

أ) الشق او التركيب المعدني Mineral Composition

ب) الشق او التركيب العضوي Organic composition

جدول (1-2) التركيب المعدني لبعض الكائنات الحية والمواد
Elemental composition of some organisms and substances
(Epstein ., 1972) : عن

العنصر Element	نبات الذرة الصفراء corn plant Zea mays	Per cent of dry matter الانسان Man, Homo sapieus	الكاربوهيدرات Carbohydrates	الدهن Fat	البروتين Protein
O	44.43	14.62	51.42	11.33	24
C	43.57	55.99	42.10	76.54	52
H	6.24	7.46	6.48	12.16	7
N	1.46	–	–	–	16
Si	1.17	0.005	–	–	–
K	0.92	1.09	–	–	–
Ca	0.23	4.67	–	–	–
P	0.20	3.11	–	–	–
Mg	0.18	0.16	–	–	–
S	0.17	0.78	–	–	–
CL	0.14	0.47	–	–	–
AL	0.11	–	–	–	–
Fe	0.08	0.012	–	–	–
Mn	0.04	–	–	–	–
Na	–	0.470	–	–	–
Zn	–	0.010	–	–	–
Rb	–	0.005	–	–	–

Corn plant, from Miller (1938), man, recalculated after Oser (1965), carbohydrate, on the basis of sucrose, fat, on the basis of oleic acid, Protein, after various sources.

أذا كانت المادة الجافة تشكل حوالي 15% من الوزن الطري للنبات . وحيث أن 90% من هذه النسبة تمثل بعناصر الكاربون والاوكسجين والهيدروجين فهذا يعني أن 10% من النسبة (15%) يمثل العناصر المعدنية التي تحتوي عليها مادة النبات الطرية .وبعبارة أخرى فأن العناصر المعدنية فيما عدا الكربون والماء يكون في المتوسط حوالي 1.5% من وزن النبات الطري .

وهذه النسبة تكون التركيب المعدني للنبات والمحتوية على العناصر الغذائية الكبرى والصغرى وبعض العناصر النادرة الاخرى والتي تمتصها النباتات من الوسط المحيط بها وخاصة من محلول التربة .

ولتقدير العناصر المعدنية فأن ذلك يتم بعمل رماد للمادة النباتية وذلك للتخلص من مركبات الكاربون العضوية وذلك بحرقها على درجة حرارة من 500–600 درجة مئوية لمدة 6–8 ساعات ويكون الجزء العضوي هو ذلك الجزء القابل للاحتراق والتطاير ، أما الجزء المعدني غير العضوي فغير قابل للاحتراق أوالتطاير . الاّ أن بعض العناصر قد تفقد أثناء عملية الاحتراق حيث يتطاير الفسفور اذا أرتفعت درجة الحرارة عن 600 درجة مئوية ، والزنك يتطاير اذا ارتفعت درجة الحرارة عن 450 درجة مئوية والبوتاسيوم يفقد اذا زيدت درجة الحرارة عن 480 درجة مئوية . كما أن النتروجين يكون عرضة للفقد بالتطاير حتى عند درجات حرارة مابين 80–100 درجة مئوية ولذلك ينصح بأتباع طريقة الهضم الرطب بالاحماض وهي احماض النتريك والكبريتيك والبيركلوريك حيث يتم الهضم على درجات حرارة منخفضة لاتزيد بأي حال من الاحوال عن درجة غليان هذه الاحماض أي بحدود 250 درجة مئوية . وبالنسبة لعنصر النتروجين فأنه يقدر بواسطة جهاز كلدال .

اما المادة العضوية فهي تكون الجزء الاكبر من مادة النبات الجافة وتصل كميتها الى 90% في المتوسط من مادة النبات الجافة . وتتركب المادة العضوية اساسا من عناصر الكاربون والاوكسجين والهيدروجين كما يدخل في تركيبها عناصر النتروجين والفسفور والكبريت وبعض العناصر التي تميل الى تكوين مركبات مخلبية مع المركبات العضوية مثل الحديد في تكوين الهيم (Haem) والمغنيسيوم في تكوين جزيئة الكلوروفيل والكوبلت في تكوين فيتامين B_{12} والاخير مهم في تكوين العقد البكتيرية على جذور النباتات البقولية . ويمكن تقسيم المواد العضوية الى :

1) مواد لايدخل النتروجين في تركيبها ومن هذه المواد :
أ ـ المواد الكربوهيدراتية ومشتقاتها مثل السكريات الثنائية ، النشاء ، السليلوز ، الهيميسيليلوز .... الخ .
ب ـ الاحماض العضوية مثل احماض الماليك واللاكتيك والستريك ... الخ .
جـ ـ الزيوت والدهون .
2) مواد يدخل النتروجين في تركيبها ومن هذه المواد :
أ ـ الاحماض الامينية والتي تتكون منها البروتينات .
ب ـ الكلوروفيل .
جـ ـ الامينات والاميدات والقواعد النتروجينية .
د ـ القلويدات العضوية Alkaloides مثل النيكوتين والمورفين والكافئين ... الخ .
هـ ـ مواد أخرى معقدة التركيب مثل الانزيمات ومساعد او مرافق الانزيمات والاحماض النووية والفيتامينات والهرمونات النباتية .

وبالرغم من ان المعادن لاتشكل الاّ جزءا ضئيلا من مادة النبات والتي تبلغ بحدود 1.5% من مادة النبات الطرية كما سبق وان اشرنا الى ذلك الاّ أنها على درجة كبيرة من الاهمية حيث تمكن النباتات الخضراء من القيام بعملية التركيب الضوئي وبناء مادتها العضوية . كما أن الدراسات الحديثة قد بينت على أن النبات يحتوي على آلاف الانزيمات والتي قد تعمل في آن واحد او على التعاقب طبقا لما تتلقاه من معلومات من الاحماض النووية والمسيرة لمختلف التفاعلات الحيوية التي يحتاج اليها النبات وهذه الانزيمات تكون غير فعالة في حالة غياب العناصر المعدنية خاصة العناصر الغذائية الصغرى (Bergmann, 1983) .

3.5.1 ـ العوامل التي يتوقف عليها التركيب الكيمياوي المعدني للنبات :

أ ـ العوامل الوراثية :

تلعب العوامل الوراثية الدور الرئيسي في تحديد محتوى النبات من العناصر المعدنية . وهذه العوامل تفسر الحقيقة بأن ما تحتويه مادة النبات الخضراء من عنصري النتروجين والبوتاسيوم حوالي عشرة اضعاف محتواها من الفسفور والمغنيسيوم وهذه بدورها قد يصل محتواها من 100-1000 ضعف اعلى من العناصر الغذائية الصغرى .

فقد لاحظ (Collander 1941) ان محتوى نبات الـ (Atriplex hortense) وجنس (Vicia) من الصوديوم اكثر من 60 ضعفا من جنس الـ (Zea) وان جنسي

الـ (Lactuca) والـ Pisum) محتواها اكثر من 60 ضعفا من عنصر المنغنيز من جنس الـ (Nicotiana) .

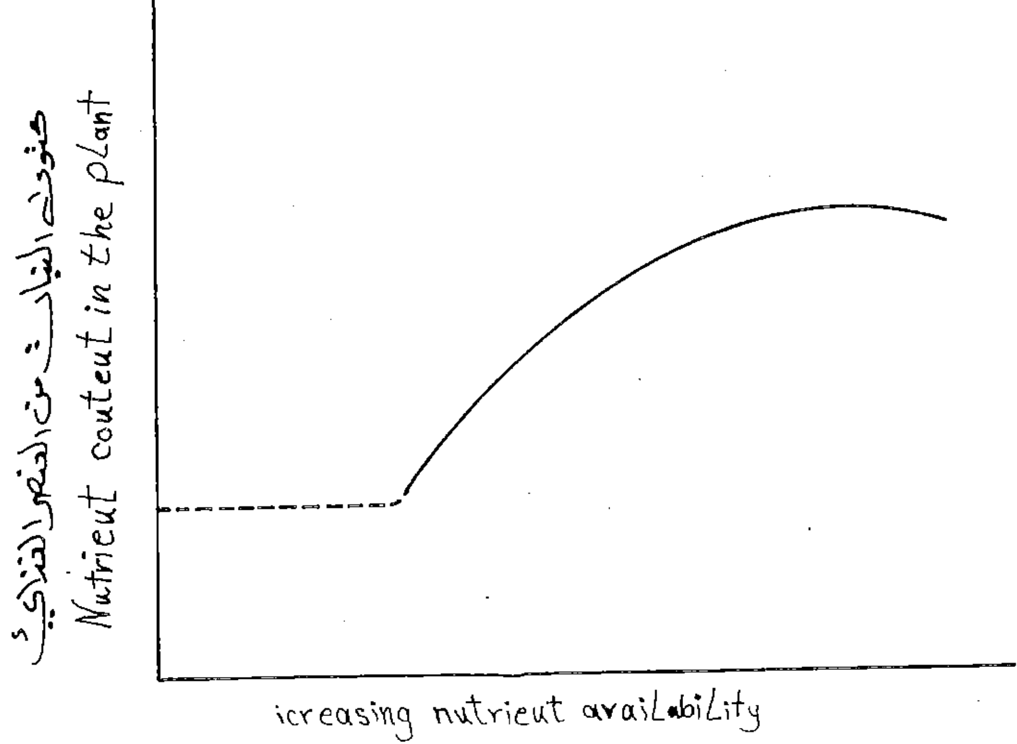
إن محتوى النباتات ذوات الفلقتين بصورة عامة من الكاتيونات ثنائية التكافؤ اعلى من الكاتيونات احادية التكافؤ وهذا يتفق تماما مع ان النباتات ذوات الفلقتين تمتلك سعة تبادل كاتيونية اكثر من السعة التبادلية الكاتيونية للنباتات ذوات الفلقة الواحدة (Mclean et al., 1956) و (Drake and White, 1961) .

وعموما يمكن القول ان محتوى البقوليات من عناصر الـ N, Ca, P اعلى من النجيليات . وإن الحمضيات ذات محتوى عالي جدا من عنصر الكالسيوم قد يصل الى اكثر من 6% دون ان يكون له تأثير سمي كما ان ثمار التفاح ذات محتوى عالي نسبيا من عنصر الكالسيوم قد يصل الى 3% ، والاّ تسبب نقصه بالنقرة المرة Bitter Pit في ثمار التفاح . أما نبات عباد الشمس فإن احتياجاته عالية من عنصري البورون والكالسيوم وقد يصل تركيز البورون الى اكثر من 10 جزء بالمليون (ppm) في المحلول المغذ دون أن يسبب سمية له في حين ان تركيز 2 جزء بالمليون قد يسبب سمية للنباتات النجيلية ولذلك يقال ان نبات عباد الشمس حساس لعنصر البورون . كما ان محاصيل البطاطا والبنجر السكري وقصب السكر ذات محتوى عالي من عنصر البوتاسيوم لأهميته في عملية تكوين ونقل الكاربوهيدرات من اماكن تكوينها الى اماكن تخزينها ، والسبانغ يعتبر غنياً بعنصر الحديد .

كما ان نباتات اللهانة والقرنابيط والشلغم والخردل والكلم والبصل والثوم والفجل والى حد ما البقوليات بصفة عامة تحتوي على نسبة عالية من عنصر الكبريت والذي يدخل في تكوين زيت الخردل او ما يسمى احيانا بالزيوت الطيارة (Mustard oil glucosides) .

ب ـ جاهزية العناصر الغذائية :

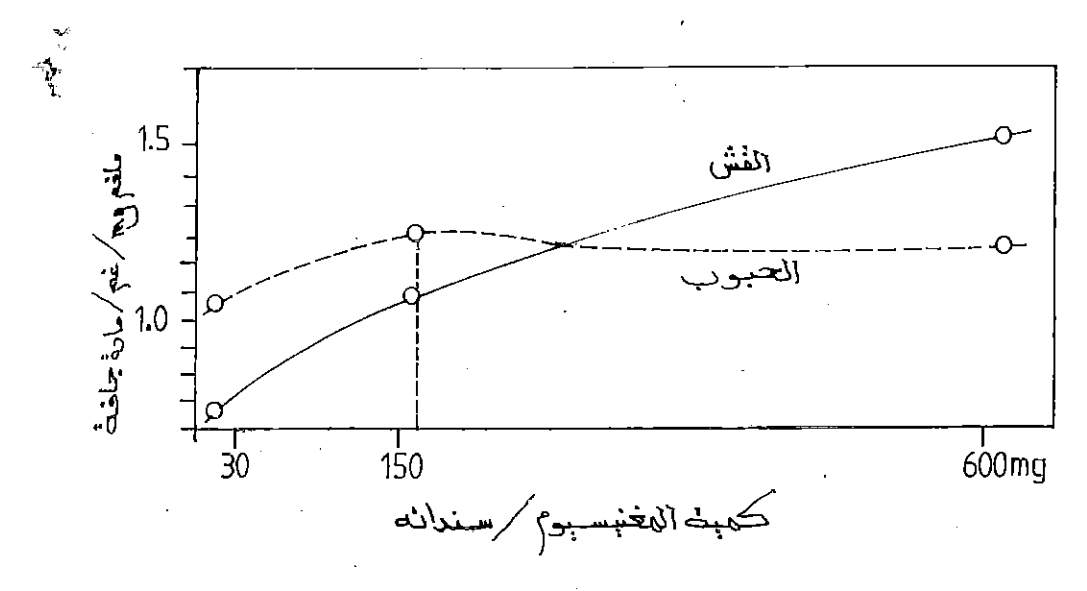
يزداد تركيز العناصر الغذائية في النبات كلما كانت كميتها في وسط النمو والتي تكون جاهزة Available للامتصاص عالية . ويقصد بالجاهزية ان تكون ايونات املاح العناصر الغذائية في حالة ذائبة في محلول التربة وبالصورة القابلة للامتصاص بواسطة جذور النبات كما يتضح ذلك من الشكل التالي :



شكل (1-6) العلاقة بين جاهزية العنصر الغذائي في وسط النمو ومحتوى النبات من هذا العنصر.
عن : (Mengel and Kirbky, 1982)

جـ ـ اختلاف العضو النباتي :

يختلف محتوى مادة النبات من المغذيات باختلاف نوع العضو النباتي ومدى احتياج النبات للعنصر المعدني في كل عضو من اعضاء جسمه المختلفة (جذور ، سيقان ، اوراق ، ازهار ، حبوب ، او ثمار) .

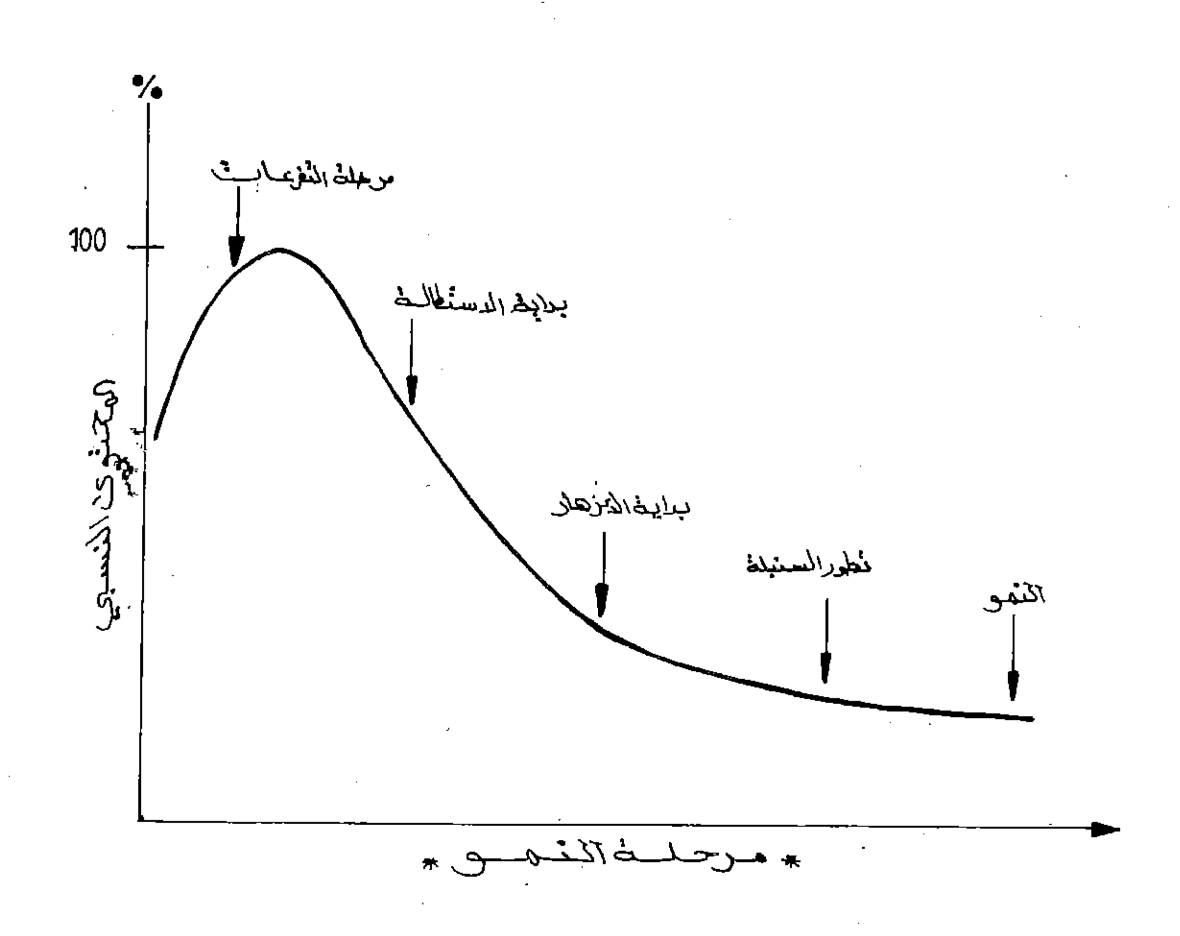


شكل (1-7) تأثير إضافة المغنيسيوم على المحتوى من المغنيسيوم في كل من القش والحبوب.
عن : (Schreiber, 1949)

يستنتج من الشكل بأن زيادة المغنيسيوم يكون تأثيره اكبر في محتوى المغنيسيوم لمادة القش من تأثيره في الحبوب. هذه العلاقة تكون صحيحة كذلك لعناصر النتروجين والفسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والحديد .

د ـ اختلاف عمر النبات :

إن محتوى النبات من العناصر المعدينة يتأثر أيضا بدرجة كبيرة بعمر النبات فقد لاحظ (Smith ,1962) اكثر من مرة ان محتوى النباتات الحديثة السن وكذلك الاجزاء الحديثة تحتوي على كميات عالية من النتروجين والفسفور والبوتاسيوم بينما في النباتات المسنة والاجزاء الاكثر نضجا يكون محتواها من الكالسيوم والمنغنيز والحديد والبورون اعلى كما يتضح من الشكل (1-8) .



شكل (1-8) محتوى نبات الشوفان من عناصر الـ NPK خلال فترة النمو .
عن : (Scharrer and Mengel, 1960)

إن زيادة عناصر الـ (N,P,K) في الاسابيع الاولى يمكن تفسيرها بزيادة معدل الامتصاص عن معدل نمو النبات ولكن مع تقدم عمر النبات خاصة بعد عملية التفرع وحتى بداية عمليات الازهار يحصل نمو كبير للنبات مما يجعل زيادة معدل النمو اعلى بكثير من معدل الزيادة الممتصة من هذه العناصر ولذلك يقل تركيزها بسبب ما يطلق عليه بعملية تخفيف التركيز ولكن يجب الا يقودنا هذا للوقوع في الخطأ في الاستنتاج فان كمية العنصر الكلية للنبات التام النضج هي بلاشك اعلى بكثير عند مقارنتها بنبات حديث العمر .

هذا ويعبر عادة عن محتوى العناصر الغذائية الكبرى في المادة الجافة للنبات والمجففة على درجة حرارة (105) درجة مئوية بالملغم/ غم مادة جافة ، اما بالنسبة للعناصر الغذائية الصغرى فانه يعبر عنها بالجزء بالمليون (ppm) والـ ppm معناه ملغم/ لتر تعبيرا عن تركيز المحاليل او معناه ملغم/ كغم من المادة الجافة او للتربة .

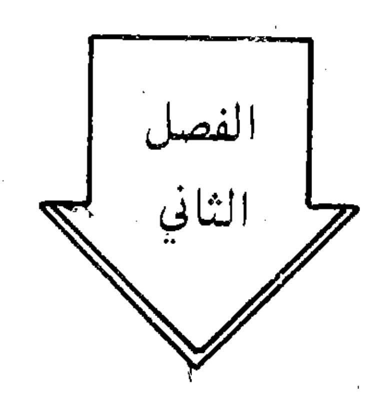
ويذكر ان التعابير السابقة تكون اكثر ملاءمة عند تقدير ما امتصه النبات من العناصر الغذائية او عند تحليل النبات لمعرفة جاهزية العناصر الغذائية في التربة . ولكن من الناحية الفسيولوجية فانه يفضل ان يعبر عن تركيز العناصر الغذائية بالنسبة للوزن الرطب بشكل ملليمول (mM) او ملليمكافىء (me) كأن يقال 2.5 ملليمكافيء من البوتاسيوم/ 100 غم من المادة الرطبة حيث أن ذلك يعطي وضوحا افضل لمحتوى الخلية النباتية من تركيز العناصر المعدنية .

كما قد تستعمل هذه الرموز (me or mM) في حالة توضيح تركيز الجزيئات العضوية للاحماض الامينية والاحماض العضوية والسكريات .

إن استعمال الرموز mM و me يكون مميزا لوجود علاقة فسيولوجية مثل تأثير العمر على ما تحتويه اعضاء النبات من العناصر المعدنية . وبصورة عامة فإن محتوى المادة النباتية من الماء يكون اكثر في اجزاء النباتات الحديثة السن وقد يكون هذا تفسيرا لانخفاض تراكيز عناصر N, P, K فيها .

الجدول (3-1) : محتوى العناصر المعدنية لمختلف اجزاء النبات . عن : (Mengel, 1972)

العنصر	الاجزاء العليا من نبات الشوفان في مرحلة التفرعات	حبوب الشوفان	قش الشوفان	الشلغم في مرحلة النمو الخضري
	ملغم/ غم من المادة الجافة للنبات			
N	39	17	4.5	56
P	4.4	4.3	1.2	4.9
S	3.2	2.8	3.3	9.3
Cl	15	2.7	14	12
K	43	6.4	14	46
Na	5.3	0.2	3	1.3
Ca	9.4	2.2	9	29
Mg	2.1	1.2	1	2
Si	3.5	1.8	3.3	3.4
	جزء بالمليون في المادة الجافة			
Fe	74	53	85	550
Mn	130	80	50	250
Zn	41	31	42	85
B	6	1.1	7	35
Cu	7	3	2.3	7
Mo	2	1.6	1	–



علاقة النبات بأوساط النمو المختلفة

1.2 ـ فكرة عامة :

وسط نمو النبات عبارة عن المكان او البيئة التي يتواجد فيها او يعيش عليها النبات والتي يحصل منها على مواده الاولية البسيطة من ماء وهواء وعناصر معدنية والضرورية لنموه .

ومن المعلوم انه يوجد نوعان من النباتات على سطح الكرة الارضية النباتات المائية وهذه اما تعيش مغمورة بالمياه كما هو الحال في قاع المحيطات او في البحيرات سواء كانت هذه المياه مالحة او عذبة ، وهنا تكون جميع خلايا النبات في تماس مباشر مع وسطها او بيئتها المائية او قد يحدث احيانا وكما هو الحال عليه في مصبات الانهار او المستنقعات او الاهوار ان يكون النبات مغمورا بالمياه ولكن قد يحدث انحسار للمياه بحيث تصبح الاجزاء الهوائية لهذا النبات معرضة تماما للهواء الجوي ، وسواء كانت هذه أو تلك فهي تعيش في الماء ولذلك يطلق عليها النباتات المائية . وتتميز هذه النباتات بأنها تعيش في وسط بيئي ذو تركيب كيمياوي معين يتراوح تركيز املاحه بحدود 3.5% كما في المحيطات الى وسط اقل من ذلك ولكنه مازال ملحيا مثلما هو موجود على ضفاف الثلاجات او الانهار والجداول الجبلية او البحيرات .

اما نباتات اليابسة فتعتبر التربة هي الوسط الذي تعيش عليه النباتات وتعتبر المصدر الرئيسي لموادها الاولية .

ومن المعروف أن التربة وسط غير متجانس معقد التركيب تختلف في صفاتها الكيمياوية والفيزياوية والبيولوجية اي في درجة خصوبتها من مكان الى اخر كأن تختلف من متر الى متر بل من شبر الى شبر . ويرجع هذا الاختلاف الى عوامل عديدة اهمها مادة الاصل (Parent material) والمناخ (Climate) والطبوغرافيا (Topography) اي ارتفاع وانخفاض التربة والزمن (Time) او عمر التربة (Soil age) الذي تكونت فيه التربة أو مضى على تكوينها واخيرا العامل البيولوجي Biological factor والذي يمثل احياء التربة المجهرية Soil microorganisms كما يجب الا ننسى ان الانسان نفسه وتدخله بطريقة ما (Jenny, 1947) قد يلعب دورا لا يستهان به في تغيير خصوبة التربة كنوع الاسلوب المستخدم في الزراعة كالحراثة البدائية او استخدام احدث ما توصل اليه العقل البشري من تقنية واستخدامها في عمليات الحراثة كما ان نوع المحراث المستخدم سواء بالخرماشة اليدوية او المحراث الحفار او الدسك او محراث تحت التربة وعدد مرات الحراثة والتنعيم قد يكون لها تأثيرات ايجابية او سلبية على خصوبة التربة .

كما ان اضافة الاسمدة سواء كانت عضوية او كيمياوية وانواعها وكمياتها وموعد وطريقة اضافتها والاسلوب الخاطيء أو الملائم للري كالري السيحي (السطحي) او الرش او التنقيط ووجود او عدم وجود نظام متكامل للري والبزل تعتبر من العوامل المهمة للمحافظة على خصوبة التربة او تدهورها .

الى جانب الماء والتربة فإن الغلاف الجوي يعتبر احد مصادر تغذية النبات ، فعملية التركيب الضوئي للنباتات التي تعيش على اليابسة تأخذ غاز ثاني اوكسيد الكاربون وكذلك تأخذ الاوكسجين لتنفسها من الغلاف الجوي ، كما ان غاز SO_2 الموجود في الهواء الجوي يعتبر مصدرا لتغذية النباتات . وهناك دراسات على ان نبات القطن قد اخذ مايعادل 30% من احتياجاته من عنصر الكبريت من غاز SO_2 الجوي (Mengel, 1972) .

ان ما يتساقط مباشرة من عناصر معدنية منقولة بواسطة الهواء الجوي على النباتات او في التربة كحدوث شرارة كهربائية في الجو Electrical discharge وتكوين اكاسيد النتروجين NO, N_2O, N_2O_5, NO_2 والتي تنزل مع ماء المطر مكونة النترات وبطريقة مشابهة لنزول غبار المصانع المحتوى على غازات الكبريت خاصة في المناطق الصناعية والتي تنقل بواسطة مياه الامطار للتربة توضح لنا مدى مساهمة الهواء الجوي في تغذية النبات (Corham, 1961) .

كما نود ان نشير هنا انه من بين جميع الاشياء الحية فأن النباتات التي تعيش على اليابسة تتواجد في بيئة تختلف عن بقية الاحياء الاخرى حيث أن جذورها تتواجد في التربة في حين اجزأها الاخرى تكون في تماس مباشر مع الغلاف الجوي وهذا بدوره جعل من الضرورة بمكان ان يحدث تطور فريد سواء في بناء أنسجتها أو في ميكانيكيات حركة المواد بين جذورها وأجزائها الهوائية وهذا يختلف كليا عما هو موجود عليه الحال في الحيوانات .

وتشمل اوساط نمو النبات ما يلي :

2.2 ـ التربة

تعتبر التربة المصدر المباشر للمواد المعدنية للنباتات التي تعيش على اليابسة ، فأغلب المغذيات تؤخذ بصورة رئيسية من التربة ، كما ان مصدر الهيدروجين والاوكسجين هو الماء ومصدر النتروجين هو الغلاف الجوي حيث ان احياء التربة لديها القدرة على تثبيت النتروجين الجوي وتحويله الى صورة جاهزة للنباتات الراقية .

ومما تجدر الاشارة اليه ان جزيء الماء الذي يمتص بواسطة جذور نبات معين في مكان معين في يوم معين قد يتواجد في اليوم الثاني على بعد عدة أميال بعيدا عن هذا النبات ، وهذا بالطبع لايمكن أن يحدث للعناصر الاخرى مثل البوتاسيوم ، المغنيسيوم ، الفسفور أو العناصر المعدنية الاخرى ، فهذه لايمكن انتقالها بنفس الكيفية بواسطة الغلاف الجوي بعيدا عن النبات ، بل أنها مجرد مركبات ذائبة في محلول التربة أو انها تتحرك من الجزء الصلب للتربة وتكون قريبة من منطقة جذور النباتات (Rhizosphere) والمسافة التي تنتقلها من التربة الى جذور النبات تقاس غالبا بالميكرون ، أو أنها تنتقل لمسافة أكثر من ذلك عندما تنتقل الآيونات المتواجدة في محلول التربة عبر الشقوق أو المسام الموجودة بين حبيبات التربة . وعلى أي حال اذا ماقورنت حركتها مع حركة العناصر التي تتحرك مع الغلاف الجوي على سطح الكرة الارضية فإنها قليلة جدا ولذلك فإنه يمكن القول وبوجه عام ان معظم العناصر الغذائية المعدنية تكاد تكون غير متحركة في الترب . هذه الحقيقة فرضت على النبات الذي يعيش على اليابسة من أن يتكيف ويتأثر بشكل يسهل عليه أو يمكنه من امتصاص أو الوصول الى العناصر المعدنية الضرورية لحياته . ولهذا السبب نجد أن جهاز الامتصاص (الجذور) قد تكيف بحيث يمكنه أن ينتشر أفقيا أو يتغلغل في التربة للأعماق بشكل كبير الأمر الذي يزيد من امكانية زيادة مساحة سطوح الامتصاص والتي تكون في تماس مباشر مع سطح التربة .

وفي احدى الدراسات فقد قام العالم (1937, Dittmer) بزراعة نباتات الشيلم **Secale cereale** (Rye) في صندوق ابعاده (30.5×30.5×55.9 cm) لمدة أربعة شهور ثم قام بفصل جذور نبات واحد من التربة وبغية الحصول على المجموع الجذري كاملا قام بغسلها بجذر بواسطة تيار من الماء فوجد أن مساحة جذور هذا النبات هي $639 m^2$ ومجموع اطوالها بلغ 623 كم.

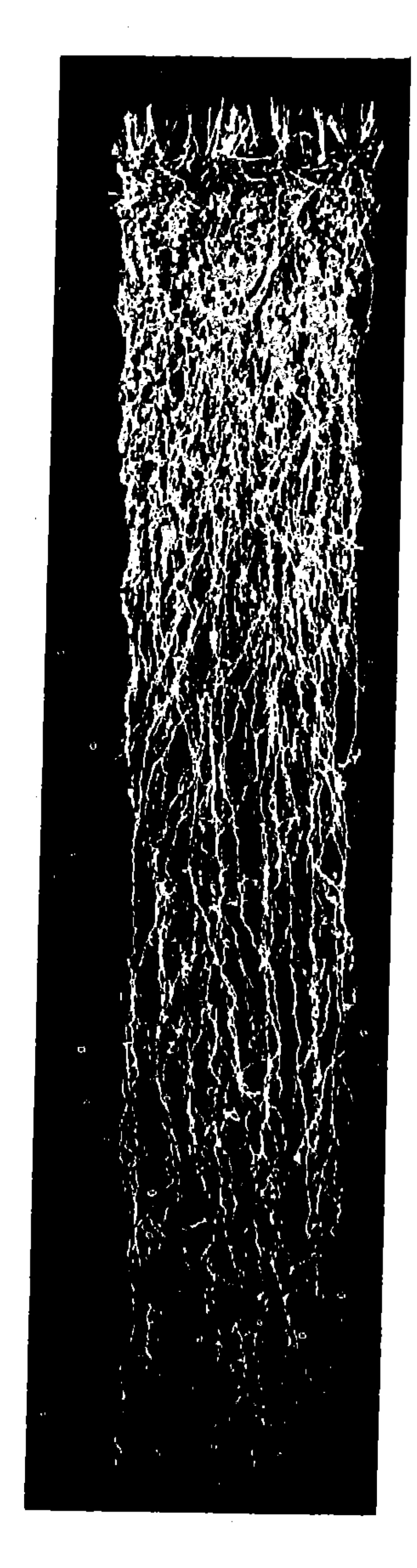
وفي دراسة مماثلة اخرى قام بها (1968, Weaver) وجد ان وزن المادة الجافة لجذور نوعين من الحشائش هما **Bouteloua gracilis** (blue grama), (big bluestem **Andropogon gerardi** والنامية لمدة ثلاث سنوات هي 1.6,5.5 طن لكل ايكر على التوالي.
(الايكر يساوي حوالي 4047 مترا مربعا).

ان الشكل (2-1) يبين المجموعة الجذرية لحشيشة الـ (Switchgrass) **panicum virgatum** في دراسة قام بها (1949, Weaver and Darland) ويظهر مدى اختراق الجذور لعمق كبير في التربة.

كما ابتكر (1953, Hell et al) وجماعته طريقة دقيقة لقياس انتشار الانظمة الجذرية في التربة وعلاقة ذلك مع الزمن. فقد وجدوا أن المجموع الجذري لنبات الذرة الصفراء (corn) **Zea mays** قد تعمق في التربة الى أكثر من ستة أمتار وكان الانتشار الافقي بقطر زاد على عشرة أمتار بعد فحصها اثناء اربعة عشر اسبوعا من الزراعة.

وتمثل الجذور أداة الوصل او الربط التي تمكن النبات من امتصاص العناصر الغذائية الضرورية من التربة والتي تعتبر المخزن الاساس لها.

ويذكر ان العلاقة الوثيقة والتماس المباشر مع كتلة التربة والتي تتطلب تأدية الجذور لوظيفتها هي السبب التي جعلت النباتات غير متحركة او غير متنقلة من مكان الى آخر. حيث ان الحركة الحرة تشكل عقبة في احداث مثل هذا التلامس بين الجذور والتربة الذي يمكن الجذور من امتصاص المغذيات من التربة وامداد النبات باحتياجاته منها. فعملية التركيب الضوئي (Trench **et al**., 1969) وتثبيت النتروجين الجوي (1970 Bergersen and Hipsley) تكون مهمة في التحصيل الاولي للمغذيات المعدنية من التربة.



شكل (2-1) النظام الجذري لـ Panicum virgatum Switchgrass . الحجم الفعلي (30 × 152 سم) عن (Weaver and Darland, 1949) .

اما الحيوانات والانسان على الارض فقد اكتسبت حرية الحركة خلال مراحل تطورها والتي مكنتها من عدم تناول العناصر المعدنية الاولية مباشرة .

إن وجودنا يعتمد على العناصر الغذائية المثبتة بواسطة تلك الماكينات الكيمياوية في النباتات التي تتأصل جذورها في التربة .

والتربة وسط غير متجانس معقد التركيب بمقارنتها بالاوساط المائية مثل مياه البحار والمحيطات أو الانهار والبحيرات . ومن الصعب التحكم في التربة بصورة كاملة كوسط لاجراء التجارب خاصة وان تركيب محلول التربة الذي يمر عبر الجذور غير معروف كميته او تركيبه الدقيق فهو يختلف من جذر الى آخر كما أنه عرضة للتغيرا بين لحظة واخرى .

يتكون وسط التربة من ثلاثة أطوار . وهي الطور الصلب ويشمل الجزء المعدني والذي يشتق من الصخور والمعادن وكذلك من المادة العضوية والتي قد تكون مختلفة في درجة تحللها . والطور السائل ويشمل محلول التربة المكون من الماء والاملاح الذائبة فيه . أما الطور الغازي فهو هواء التربة والذي يشغل المسافات البينية والشروخ أو الشقوق المتواجدة بين حبيبات التربة الصلبة وغير المملوءة بالماء .

تمتص الجذور الماء والمغذيات وتؤثر الكائنات الحية الدقيقة على البيئة المحيطة بالجذور . كما أن CO_2 الناتج من تنفس الجذور وتنفس أحياء التربة يلعب دوراً في تغيير محلول التربة وهوائها . ومما تجدر الاشارة الية ان هناك حركة دائمة ومستمرة للمواد بين محلول التربة والطور الصلب .

يعتبر محلول التربة أهم مصدر للمغذيات التي تمتص بواسطة جذور النباتات ، ومع ذلك فهو محلول مخفف وسرعان ما يسحب ما به من عناصر غذائية بواسطة جذور النبات ، غير ان محلول التربة يوجد في حالة اتزان مع الجزء الصلب والذي يتحرر منه العنصر ليعيد التوازن الى ما كان علية قبل سحب الجذور لأيونات هذا العنصر .

لقد اوضح (Stout and Overstreet 1950) ان الفوسفات الذائبة في محلول التربة توجد بحدود واحد جزء في المليون (1 Part per million = 1 ppm) .

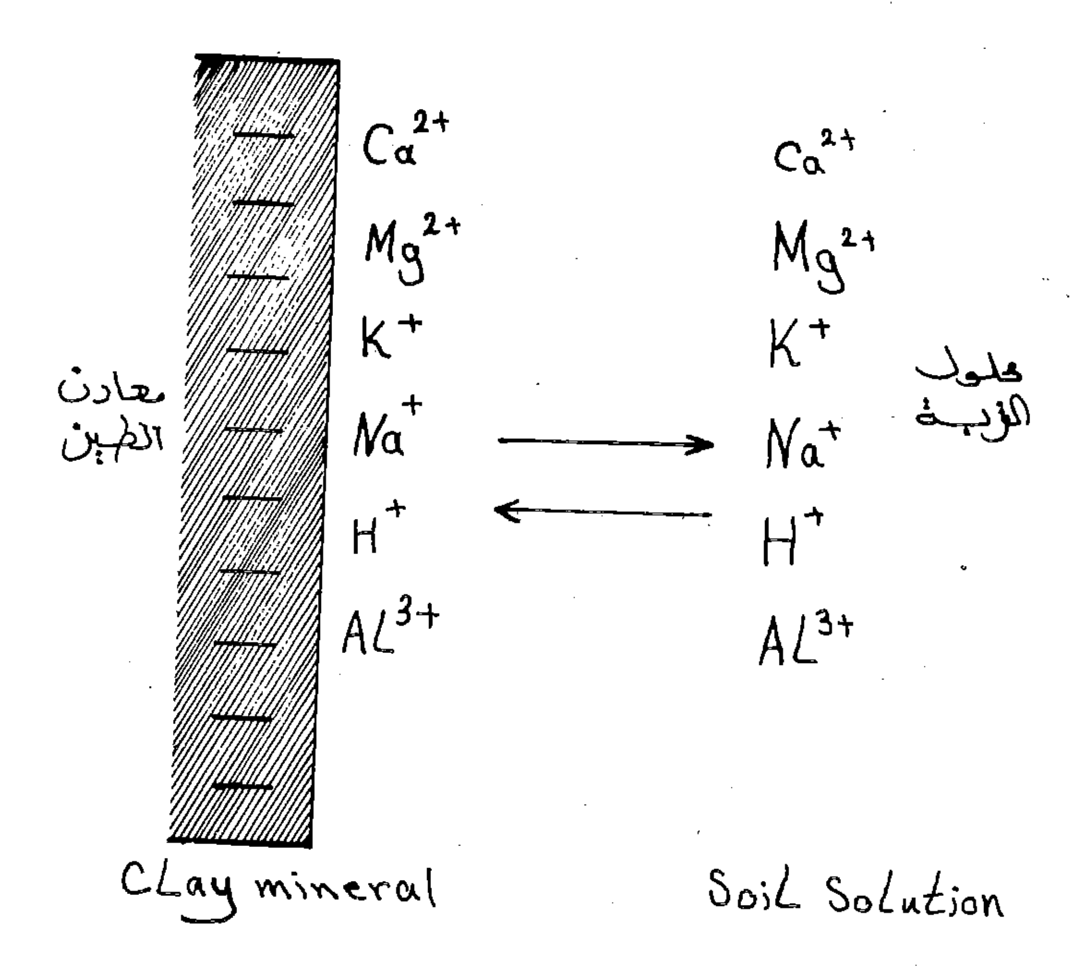
وبعد تنمية النباتات لمدة (6) أسابيع في هذا المحلول وقياس الفوسفات بداخل النبات فان تبين ان محلول التربة يجدد باستمرار وبمعنى آخر فانه يمون من جديد من قبل الجزء الصلب للتربة وبحدود عشر مرات يومياً .

إن تحرر العناصر المعدنية من الجزء الصلب للتربة وامداد محلول التربة بهذه المغذيات النباتية قد يحدث بطرق عديدة ، كذوبان المعادن نفسها (Soluble mineral) أو ذوبان المواد العضوية بعد معدنتها وتحللها (Mineralization) وانفراد عناصرها الى محلول التربة بفعل احياء التربة (Soil organisms) وقد يكون جزئياً نتيجة ذوبان الاملاح المعدنية ذاتها (Soluble salt minerals) او نتيجة لعمليات التبادل (Exchangeable processes) والتي تعتبر الجهز الرئيسي لمحلول التربة بالعناصر المعدنية والتي تكون ممدصة (adsorbed) على سطوح غرويات التربة (التربة والدبال) ، وأهم العناصر الممدصة هي :

(H, Al, Ca, Mg, K and Na) والتي تمسك بواسطة الشحنة السالبة الموجودة على سطوح معادن الطين والمادة العضوية نفسها . إن الكميات المتبادلة تختلف بطبيعة الحال باختلاف الترب والعوامل البيئية والمناخية السائدة في المنطقة ، كما تتوقف على درجة تفاعل التربة (pH) وشحنة الكاتيون وتركيزه ونصف قطره المائي (Hydration water) كما تتوقف على نوع النبات النامي وعمره . فالنباتات البقولية تمتلك سعة تبادل كاتيوني اعلى من النباتات النجيلية وهي اعلى للنبات الحديث العمر من النبات المتقدم في السن . ويظهر أن أكثر الأنيونات تواجداً في محلول التربة هي النترات ، كما توجد ايضاً الفوسفات ، الكبريتات ، الكلوريدات ، البورات ، المولبدات وغيرها .

أما الكاتيونات الرئيسية المتواجدة في محلول التربة فهي البوتاسيوم ، الكالسيوم والمغنيسيوم وفي ترب المناطق الجافة وشبه الجافة يسود عنصر الصوديوم . أما في ترب المناطق الحامضية فيسود الهيدروجين والالومنيوم وقد يصل تركيز المنغنيز الى الحدود السامة في الترب الشديدة الحامضية كذلك .

هذا ويحدث دائماً تبادل بين الكاتيونات الموجودة في محلول التربة وبين الكاتيونات على سطوح الغرويات كما يتبين ذلك من الشكل (2-2) .



شكل (2-2) عملية التبادل بين كاتيونات محلول التربة وكاتيونات الطين .
عن : (Epstein, 1972)

وهكذا يظهر ان التربة عبارة عن نظام (صلب ، سائل وغاز) ذو تركيب فيزياوي وكيمياوي معقد جداً . وهي وسط لنمو النباتات وعلاوة على ذلك فان للاحياء المجهرية التي تعيش في التربة تأثير كبير على خواصها .
Barber; 1968; Burges and Raw; 1967; Cilmour and Allen, 1965; Rovira, 1965).

ويظهر ان احياء التربة المجهرية تعيش في الغشاء المائي المحيط بحبيبات الجزء الصلب او المحيط بالجذور ، ولذلك فان النشاط الميكروبي يتأثر بدرجة كبيرة بالمستوى الرطوبي للتربة . كما أن لجذور النباتات نفسها تأثير هام نتيجة لتوليدها السكريات والاحماض الامينية والتي تجهز الاحياء بالمواد الضرورية لنشاطها . (Rovira, 1969)

ولذلك نجد ان جذور النباتات محاطة بغلاف كثيف من هذه الاحياء المجهرية (Norman, 1961), (Parkinson, 1967), (Gray, 1967) . (Starkey, 1958), ولاشك ان لاحياء التربة دوراً كبير في تغيير الخواص

الكيمياوية والفيزياوية والحيوية للترب وهذا التأثير يتوقف كذلك على نوع هذه الاحياء وكذلك حسب نوع التربة والظروف البيئية ودرجة تفاعل التربة والدورات الزراعية ..... الخ .

وعموماً يمكن القول ان البكتريا تحيط غالباً بالجذور اما الفطريات فهي توجد في كل الترب وهي تخترق الجذور عن طريق الهيفات الخاصة بها (Hyphae) وهذه تكون على درجة كبيرة من الاهمية خاصة بالنسبة للترب الرملية حيث تعمل على تماسك حبيباتها Aggregate ، وتجعلها اكثر كفاءة لمسك الماء وتبادل الغازات ، وكما في حالة البكتريا فان الفطريات تشارك في تحليل البقايا النباتية سواء على سطح التربة او داخل التربة نفسها .

إن كثيراً من البكتريا والفطريات تعيش معيشة تكافلية (Symbiosis) مع جذور النباتات كما هو الحال في حالة بكتريا الرايزوبيوم (Rhizobium bacteria) والتي تقوم بعملية تثبيت النتروجين الجوي Atmospheric nitrogen fixation كما ان بكتريا الازوسبيريلّم **Azospirillum** التي تتواجد في ترب المناطق الاستوائية بشكل واسع تعيش على جذور الحشائش وبعض المحاصيل النجيلية الاخرى (Graminaceous) لقدرتها على تثبيت النتروجين الجوي .

كما ان الفطريات مثل المايكورايزا (Mycorrhiza) ترفع كفاءة النباتات في امتصاص عنصر الفسفور . علاوة على الاحياء السابقة فان البكتريا الحرة المعيشة (Free-Living bacteria) مثل الازوتوباكتر والكلستريديوم **Azotobacter** and **Clostridium**) والطحالب الخضراء المزرقة (Blue green algae) والـ (**Anabaena azoll**) لها القدرة كذلك على تثبيت النتروجين الجوي . (FAO, 1984)

3.2 ـ العوامل التي تؤثر على جاهزية العناصر الغذائية في التربة وامتصاصها من قبل النبات

Factors influencing the availability of nutrieuts in soil and their absorption by plant roots.

هناك عوامل كثيرة تؤثر على جاهزية العناصر الغذائية في التربة وامتصاصها من محلول التربة بواسطة جذور النبات والتي تعتبر الاكثر نشاطاً وأهمية من باقي أعضاء النبات الاخرى . وسوف نتناول فيما يلي بأختصار أهم هذه العوامل

وبأمكان القارىء الكريم التوسع والبحث عن التفاصيل بالرجوع الى أهم المصادر والتي ننصح بها في هذا الخصوص والموجودة في نهاية هذا الكتاب .

أ ـ درجة تفاعل التربة (pH)

يعتبر الـ pH من أهم العوامل التي تؤثر في جاهزية العناصر الغذائية في التربة فعنصر الفسفور مثلاً يترسب تحت الظروف الحامضية على هيئة فوسفات الحديد والالمنيوم حيث أن الـ pH الحامضي (زيادة تركيز ايونات الهيدروجين في وسط نمو النبات) يزيد من تحلل معادن الطين وبالتالي يؤدي الى زيادة انفراد الالمنيوم والحديد والتي ترتبط مع الفوسفات مكونة $FePO_4$, $AlPO_4$ وهذه صور معقدة التركيب قليلة الذوبان وغير جاهزة (non available) وبالتالي يصعب على النباتات أمتصاصها والاستفادة منها . اما تحت الظروف القاعدية وخاصة الترب المحتوية على كميات عالية من $CaCO_3$ كما هو الحال في الترب الجيرية (Calcareous soils) الامر الذي يؤدى الى رفع pH التربة (عادة أكثر من 8.2) فهنا تترسب الفوسفات على صورة فوسفات الكالسيوم الثلاثية $Ca_3(PO_4)_2$ وهي ايضاً صورة معقدة التركيب وغير جاهزة للنبات .

ومما تجدر الاشارة اليه أن الصورة الاحادية للفوسفات $H_2PO_4^-$ تكون أكثر جاهزية في الـ pH الحامضي في حين أن الصورة الثنائية التكافؤ HPO_4^{--} تكون أكثر جاهزية في الـ pH القاعدي وعند 7 pH يتساوى تواجد هاتين الصورتين .

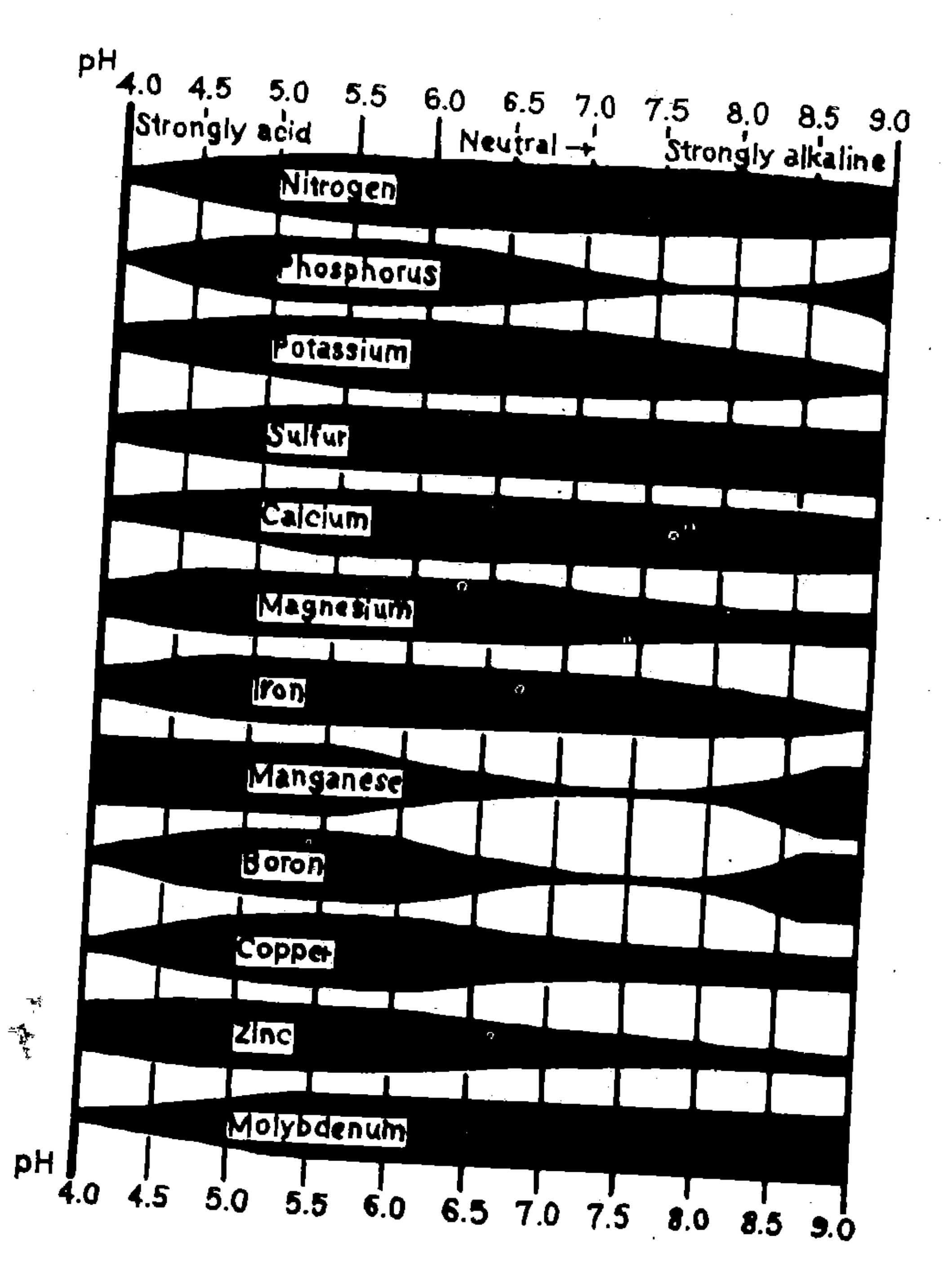
كما أن النترات تمتص بدرجة اكثر تحت الظروف الحامضية لقلة تواجد آيونات الهيدروكسيل وبالتالي قلة المنافسة (Antagonism) أو التداخل (Interaction) بينها وبين النترات في حين أن الامونيوم تمتص بكفاءة أفضل من النترات تحت الظروف القاعدية لقلة المنافسة بينها وبين آيونات الهيدروجين التي توجد بتركيز أقل في مثل هذه الظروف وعند 6.8 pH يتساوى امتصاص النترات والامونيوم من قبل النبات .

وهذا مهم جداً من الناحية التطبيقية لاضافة الاسمدة فبالنسبة لظروف العراق واذا تعذر وجود السوبرفوسفات الثلاثي فيفضل اضافة سماد (DCP) Dicalcium phosphate ($CaHPO_4.2H_2O$) .

أمـا بالنسبـة للتـرب الحامضيـة فيستحسن اضافـة الـ (MCP) (Monocalcium phosphate) ($Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$) كما يفضل بالنسبة للترب العراقية أضافة الاسمدة النتروجينية الحاوية على النتروجين في صورة الامونيوم في حين في الترب الحامضية يفضل أضافة الاسمدة النتروجينية على صورة النترات .

وبصورة عامة فأن جاهزية العناصر الغذائية الصغرى (الحديد ، النحاس ، الزنك ، المنغنيز والبورون) تزداد بأنخفاض درجة تفاعل التربة في حين أن عنصر المولبدنم تزداد جاهزيته بأرتفاع درجات الـ pH أي كلما أتجهنا نحو القاعدية حيث تحل في هذه الحالة مجاميع الهيدروكسيل محـل المولبـدات على سطوح الامدصاص وتنفرد المولبدات الى محلول التربة وتصبح أكثر جاهزية . وبوجه عام فإن العناصر الغذائية تكون أكثر جاهزية حول نقطة التعادل أي مابين pH 6.5 الى 7.5 كما يتضح ذلك من الشكل (2–3) ومما تجدر الاشارة اليه أن عملية تثبيت النتروجين الجوي (Atmospheric nitrogen Fixation) بواسطة احياء التربة (Soil micro-organisms) سواء كانت هذه الأحياء حرة المعيشة (Free living bacteria) مثل بكتريا الازوتوباكتر (Azotobacter) أو الكلستريديوم (Clostridium) أو البكـتريا التعـايشيـة (التكـافليـة) (Symbiotic) والتـابعـة للرايزوبيوم تفضل الظروف المتعادلة وهذا يعني ان كفاءتها في عملية التثبيت تزداد في مثل هذه الظروف . كما وجد ان عملية تحول النترات الى غاز النتروجين والذي يفقد الى الجو بواسطة عملية الـ (Denitrification) يتوقف عملها تماماً إذا انخفض الـ pH عن 4.5 .

هذا ويقدر الباحثون الفقد من النتروجين بهذه العملية من 10–40% من النتروجين المضاف كسماد . هذه العملية تحدث في الترب الغدقة (Water logged soils) اللاهوائية (anaerobic) أي في الترب ذات المحتوى العالي من الرطوبة ، لذا فنبات الرز الذي يوجد في أغلب مراحل نموه مغموراً بالمياه يعاني فقد النتروجين بصورة النترات بعملية (Denitrification) أو نتيجة الفقد بالغسل لذا يفضل اضافة النتروجين في صورة الامونيوم حيث ان النترات تكون سهلة الغسل (Leaching) من مقد التربة لأنها محملة بأنيون . والمعروف أن معادن الطين تكون ايضاً محملة بشحنة سالبة ولذا يحدث تنافر وتغسل النترات الى الأعماق بعيداً عن منطقة جذور النبات .



شكل (2-3) العلاقة بين تفاعل التربة (pH) وجاهزية العناصر الغذائية،
(Mengel and Kirkby, 1982)

كما ان انخفاض الـ pH يزيد من عملية التجوبة (Weathering) للمعادن ويؤدي الى تحرر ايونات مختلفة مثل K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} Mn^{2+}, Cu^{2+}, Al^{3+} وتكون قابلية ذوبان الاملاح مثل الكاربونات، الفوسفات والكبريتات بدرجة أكثر تحت الظروف الحامضية . إن امتصاص الالمنيوم بواسطة معادن الطين يقل في الظروف الحامضية الامر الذي قد يزيد من تركيزه في محلول التربة لدرجة السمية

بالنسبة للنباتات وأيضاً قد تحدث سمية للمنغنيز في مثل هذه الظروف والذي يكون مصحوباً غالباً بنقص عنصر الحديد . (Lathwell and Peech 1964) كما ان نقص الحديد قد يحدث في الترب ذات المحتوى العالي من الجير مما يسبب اصفراراً أو شحوباً للنبات ولذلك يسمى هذا الاصفرار بالشحوب اليخضوري الكلسي (Limestone chlorosis) . ومما يجدر ذكره ان خلايا الاغشية النباتية تضعف وتصبح أكثر نفاذية عند المستويات المنخفضة من الـ pH (اقل من 3) مما يؤدي الى خروج ايونات العناصر الغذائية وسحبها الى خارج النبات اي الى محلول التربة ويطلق على هذه العملية لسحب الكاتيونات وخاصة عنصر البوتاسيوم (Depletion) وهذا يعني ان صافي معدل الامتصاص من عنصر البوتاسيوم يقل تحت الظروف الحامضية (محصلة امتصاص البوتاسيوم = K الداخل ـ K الخارج)

(Rate of K. absorption = K. Influx – K. Efflux) .

ب ـ المادة العضوية **Organic matter**

إن للمادة العضوية تأثيراً مباشراً على درجة تفاعل التربة حيث ينتج عن تحللها احماض عضوية والتي تؤدي الى خفض الـ pH . بالاضافة الى ذلك فإن المادة العضوية تعمل على تحسين خواص التربة الكيمياوية والفيزياوية والبيولوجية ، كما انها مصدر جيد للعديد من العناصر الغذائية مثل النتروجين والفسفور والكبريت . ويعتمد هذا على المصدر النباتي للمخلفات النباتية في الحقل . فمخلفات النباتات البقولية تكون غنية بعنصر النتروجين في حين ان قش وجذور محاصيل الحبوب تكون فقيرة بهذا العنصر وحتى ان تحللها بفعل احياء التربة يؤدي الى استنزاف نتروجين التربة ولذلك ينصح دائما في حالة اضافة مخلفات النباتات النجيلية اضافة 1 كغم N/100 كغم من القش (Mengel, 1968) .

تميل المادة العضوية الى تكوين مركبات مخلبية (Chelate compounds) مع كاتيونات العناصر وهذا يكون على درجة كبيرة من الاهمية خاصة بالنسبة للعناصر الغذائية الصغرى حيث تمسك بقوة في مثل هذه المركبات وتحمى من عمليات الترسيب وذلك بتكوينها لمركبات معقدة في التربة في حالة انفرادها الى محلول التربة في حالة غياب المواد العضوية . إن المركبات المخلبية عبارة عن مركبات عضوية تمسك العنصر وتغلفه من اكثر من جهة وتمنع من انفراده الى محلول التربة . ومن امثلة ذلك الحديد المخلبي ، والتي منها Fe-EDTA (Iron-ethylene diamine tetra acetic acid) .

إن لجذور النبات القدرة على امتصاص العناصر الغذائية على هذه الصورة وقد يحدث لها انحلال في داخل النبات وهناك آراء منها ان المركب المخلبي ينحل على الجذور ويمتص النبات العنصر الغذائي فقط (Mengel 1968) .

إن مشاركة المادة العضوية مع الكالسيوم في تكوين البناء الحبيبي (Aggregate structure) والذي يعتبر افضل بناء للترب ويعمل على تحسين الخواص الفيزياوية والبيولوجية للتربة مما ينعكس بالايجاب على تحسين العلاقات المائية والهوائية للترب الرملية والطينية ويزيد من نشاط احياء التربة ويرفع كفاءة الترب الرملية للحفاظ على ما بها من ماء وتخليص الترب الطينية الثقيلة من الماء الزائد . إن الترب الشديدة الحامضية ذات المحتوى العالي من المادة العضوية تكون فقيرة بعناصر الـ Na^{+}, K^{+}, Mg^{2+}, Ca^{2+} حيث تستبدل من مواقع تبادلها على سطوح الطين بواسطة الهيدروجين وانفرادها الى محلول التربة وبسبب الامطار الغزيرة السائدة في تلك المناطق تفقد هذه العناصر بعملية الغسل وتنزل الى الاعماق بعيدا عن متناول جذور النباتات . إن ميل المادة العضوية لتكوين مركبات مخلبية مع كل من Ca^{2+} و Al يقلل من فرصة تكوين مركبات معقدة مع الفوسفات مما يزيد من جاهزية عنصر الفسفور في الترب .

جـ ـ كاربونات الكالسيوم $CaCO_3$

إن لمحتوى التربة من كاربونات الكالسيوم تأثير مباشر على درجة تفاعل التربة ، بالاضافة الى ذلك فإن الكالسيوم يشترك مع المادة العضوية في تكوين البناء الحبيبي كما سبق وأن أشرنا الى ذلك وزيادة الكالسيوم الناجم عن زيادة كاربونات الكالسيوم يؤدي الى ترسيب عنصر الفسفور على صورة فوسفات الكالسيوم الثلاثية $Ca_3(PO_4)_2$ وبالتالي فهو يقلل من جاهزية عنصر الفسفور في التربة . كما ان ميل الكالسيوم لتكوين مركبات مخلبية مع المادة العضوية في التربة قد يكون سببا لظهور نقص عنصر الحديد حيث انه بامكان الكالسيوم الاحلال مكان الحديد حتى في المركبات المخلبية الحاوية على الحديد مما يؤدي الى تحرير الحديد وانفراده الى محلول التربة والذي سرعان ما يتحول الى مركب معقد من هيدروكسيد الحديديك $Fe(OH)_3$ غير الصالح للتغذية النباتية وان الشحوب او الاصفرار الذي يظهر في الترب الحاوية على كميات عالية من $CaCO_3$ والذي يسمى بالشحوب اليخضوري الكلسي سببه نقص عنصري الحديد والفسفور ولكن بالدرجة الاساس يعزى الى النقص بعنصر الحديد (Mengel and Kirkby ,1982) .

S — نوع التربة

إن لنوع التربة تأثير كبير على محتواها من العناصر الغذائية وجاهزيتها فنوع التربة يتحكم الى حد كبير في محتواها من الماء والهواء وبالتالي في عمليات الاكسدة والاختزال التي تسود في تلك الترب (Redox potential) فتحت الظروف الهوائية تسود عمليات الاكسدة وهنا يكون الجهد التأكسدي الاختزالي موجبا وهذا يكون له تأثير سلبي على جاهزية عنصري الحديد والمنغنيز واللذان يتحولان في هذه الحالة الى الحديد الثلاثي التكافؤ والمنغنيز الرباعي او السداسي التكافؤ والمعروف أن عنصري الحديد والمنغنيز يمتصان في صورة الحديد والمنغنيز الثنائي التكافؤ.

كذلك يزداد تحت الظروف الهوائية تحول الامونيا الى نترات بعملية النترجة (Nitrification) بواسطة بكتيريا النتروزوموناس (nitrosomonas) والنتروباكتر (nitrobacter) على التوالي. وأن النترات المتكونة بهذه العملية قد تفقد بعملية الغسل (Leaching) عند الري او بواسطة عملية الـ (Denitrification).

اما في الظروف اللاهوائية (anaerobic conditions) فيكون الجهد التأكسدي الاختزالي سالبا وتسود عمليات الاختزال وهنا تزداد جاهزية عنصري الحديد والمنغنيز حيث يظلان في صورتي الحديد والمنغنيز المختزل أي في الصورة الثنائية التكافؤ وهي الصورة الجاهزة والقابلة للامتصاص من هذين العنصرين بواسطة جذور النباتات.

غير أنه يزداد فقد النتروجين بعملية الـ (Denitrification) كما يحدث في حقول الرز حيث تتحول النترات في هذه الحالة الى النتروجين الغازي والذي يفقد الى الجو، علاوة على ذلك فإنه في حقول الرز تفقد أيضا النترات بعملية الغسل الى اسفل بعيدا عن منطقة جذور النباتات. ومن ناحية اخرى تزداد قدرة الترب الحاوية على نسبة عالية من الطين للاحتفاظ بالماء بعكس الترب الرملية الخفيفة. كما إن سعة التبادل الكاتيوني (Cation exchange capacity) (CEC) تكون عالية للترب الطينية ومنخفضة للترب الخفيفة (يعبر عن سعة التبادل الكاتيوني بعدد المليكافئات من عناصر الكالسيوم، المغنيسيوم، البوتاسيوم والصوديوم لكل 100 غم من التربة). وهذا يعني ان الترب الخفيفة ذات المحتوى العالي من الرمل تكون فقيرة بعناصر الـ Ca, Mg, K, Na.

ومما تجدر الاشارة اليه انه تحت الظروف اللاهوائية قد تحدث سمية بعنصر المنغنيز مثلما يكون الحال عليه من حدوث سمية بهذا العنصر تحت الظروف الحامضية الشديدة.

هـ ـ احياء التربة

مما تقدم يظهر جليا مدى العلاقة بين أحياء التربة ومدى توفر العناصر الغذائية وجاهزيتها في الترب . فهي المسؤولة عن عمليتي الـ Nitrification و Denitrification كما ان احياء التربة هي التي تقوم بعملية تثبيت النتروجين الجوي سواء كانت حرة المعيشة أو تعايشية كما بينا ذلك سابقا . وحاليا يمكن الاستفادة من أحياء التربة مثل فطريات المايكورايزا Mycorrhiza حيث ثبت أن لها تأثير تحفيزي على زيادة تكوين العقد البكترية للرايزوبيوم على جذور النباتات البقولية وبالتالي رفع كفاءتها في عملية تثبيت النتروجين الجوي . (FAO, 1984) .

كما اشارت الدراسات بأن حقن أو تلويث الجذور بواسطة فطريات المايكورازا يؤدي الى تحفيز نمو النبات وذلك بسبب زيادة معدل الامتصاص الناتج من امتصاص الفسفور بواسطة الهيفات (جمع هيفا Hyphae) واعطائه للنبات العائل (Host plant) (Sanders and Tinker 1973) . وكذلك يرجع اليها الفضل في تهدم وانحلال المادة العضوية بعملية المعدنة(Mineralization) وتحرير العناصر الغذائية الجاهزة للامتصاص الى محلول التربة .

كما ان بكتريا الكبريت هي المسؤولة عن اكسدة الكبريت المعدني الى صورة الكبريتات والتي تمتص من قبل جذور النبات على هذه الصورة . كما إن اكسدة المنغنيز الثنائي التكافؤ الى المنغنيز الرباعي او السداسي التكافؤ يتم عن طريق هذه الاحياء وما عملية تبخير ترب البيوت البلاستيكية كما هو الحال في مشروع الخالص الاّ احدى الوسائل للتخلص من الاحياء المجهرية والتي تسبب العديد من الامراض النباتية .

و ـ نوع معدن الطين السائد في التربة :

إن معادن الطين من نوع 1:1 مثل الكاؤليينايت (Caolinite) غير قابلة للتمدد بالرطوبة او الانكماش بالجفاف ولذلك لايمكن أن يثبت البوتاسيوم او الامونيوم بين رقائقها غير أنها تحتوي على ثمانية مجاميع من ايونات الهيدروكسيل وبالتالي تكون قدرتها أعلى على مسك ايونات الفوسفات مما يقلل من جاهزية عنصر الفسفور في مثل هذه الترب والحاوية على هذا النوع من معادن الطين الثانوية . ومما تجدر ملاحظته إن القدرة على امتصاص الفسفور تزداد بزيادة الحموضة أي بانخفاض درجة تفاعل التربة .

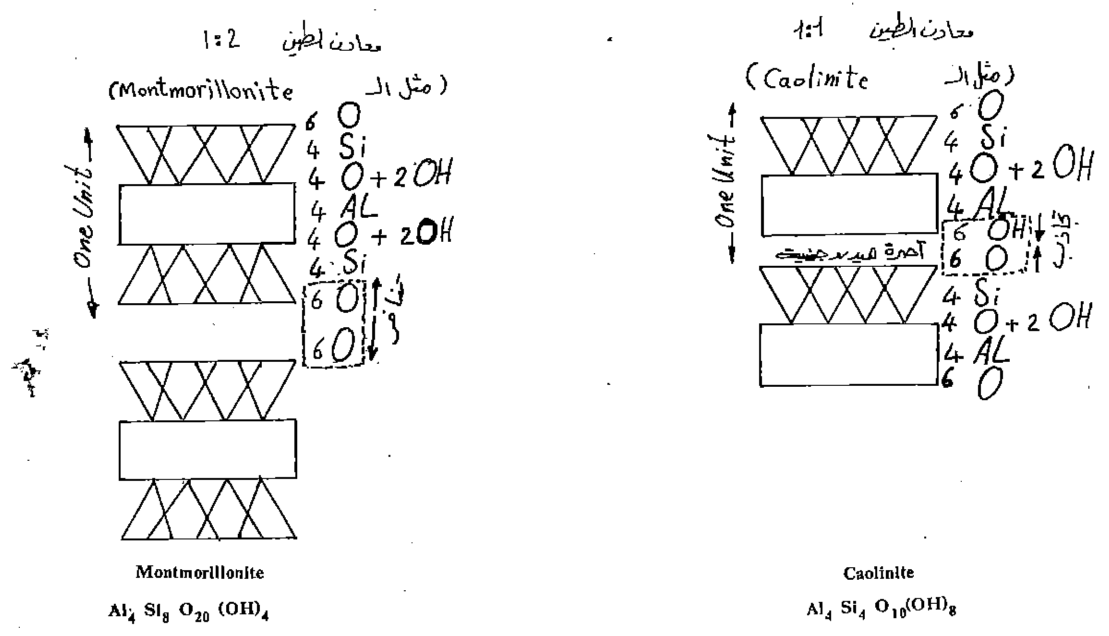
أما معادن الطين من نوع 1:2 مثل المونتموريللونايت (Montmorillonite) والايلايت (Illite) فهذه تتمدد بالرطوبة وتنكمش بالجفاف ولذلك فهي مسؤولة عن تثبيت البوتاسيوم والامونيوم بين وحداتها . إن عملية التثبيت هذه يجب الاّ ينظر

اليها على إنها عملية ضارة بالنسبة للنبات بل هي مفيدة وتحمي الـ K^+, NH_4^+ من الفقد بعملية الغسل (Leaching) خاصة في الترب الحامضية وعندما يكون هطول الامطار مستمرا . فالترب الحاوية على كميات عالية من هذا النوع من المعادن تعتبر مخزناً جيداً لعنصري البوتاسيوم والنتروجين وعند الري تنفرج طبقات المعدن ويخرجان الى محلول التربة وتصبح مصدرا جيدا لتغذية النباتات . وهناك دراسات قد اشارت على أن مقدار البوتاسيوم المثبت يساوي مقدار البوتاسيوم الذائب زائدا البوتاسيوم المتبادل (Mengel ,1968) .

(يقدر البوتاسيوم الكلي في القشرة الارضية (Lithosphere) بحوالي 2.59% والبوتاسيوم المتبادل يقدر بحوالي 1-2% من قيمة البوتاسيوم الكلي ، اما البوتاسيوم الذائب فيبلغ حوالي 1-2% من مقدار البوتاسيوم المتبادل (الممدص) (Mengel, 1968) .

في حين تحتوي معادن الطين 1:2 على أربع مجاميع فقط من الهيدروكسيل وبالتالي فإن قدرتها على مسك أيونات الفوسفات هي نصف قدرة معادن الطين 1:1 .

وفيما يلي رسماً مبسطاً لتركيب معادن الطين 1:1 ، 1:2 كما في الشكل (2-4) .



يلاحظ عند تكرار الطبقات المكونة للمعدن تقابل 6OH مع 60 وبالتالي تتكون رابطة هيدروجينية وهي التي تمنع تمدد الطبقات عند الري او وجود الرطوبة اذن فهي لاتثبت الـ K^+ , NH_4^+

يلاحظ عند تكرار الطبقات المكونة للمعدن تقابل 60 مع 60 وبالتالي يحدث تنافر أي انها تتمدد بالرطوبة وتنكمش بالجفاف . وبالتالي فهذا النوع يعمل على تثبيت الـ K^+ , NH_4^+.

شكل (2-4) رسم توضيحي لتركيب معادن الطين 1:1 , 1:2 محور عن : (Mengel and Kirbkg, 1982)

ز ـ الاكاسيد نصف الثلاثية **(Sesqueoxides)**

وهي عبارة عن اكاسيد الالومنيوم والحديد (Fe_2O_3, Al_2O_3) حيث كلما زادت في التربة أدت الى تقليل جاهزية عنصر الفسفور تزداد في مثل تلك الترب الحاوية على مقادير عالية من هذه الاكاسيد امكانية تكوين فوسفات الالومنيوم والحديد وهي كما سبق صور معقدة التركيب غير جاهزة (unavailable) للنبات .

ان التربة التي تمتلك سعة تنظيمية عالية تكون قدرتها اعلى وتعمل بكفاءة افضل على تزويد النباتات بعنصر غذائي معين اكثر من غيرها ، كما أن تركيز العنصر الغذائي والذي يحيط بالجذور بنسبة اعلى وان عملية انتقال العنصر الغذائي سواء كان ذلك بعملية الانتشار diffusion او بعملية الانسياب الكتلي mass flow اسرع مما هو عليه في حالة التربة ذات القدرة او السعة التنظيمية المنخفضة (Low Buffering capacity) .

ويمكن تعريف القدرة التنظيمية بانها حاصل قسمة الكمية Q (Quantity) على تركيز العنصر والذي يساوي تماما شدة العنصر (I) Intensity .

اي ان السعة التنظيمية = كمية العنصر / شدة العنصر

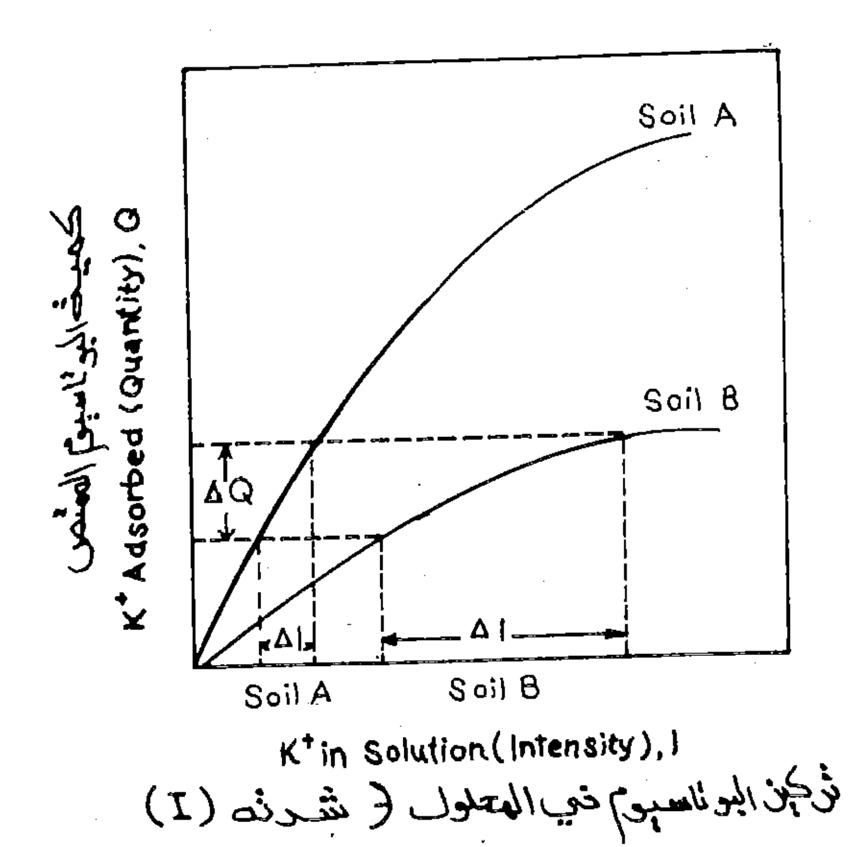
او

$$B_K = \frac{\Delta Q}{\Delta I}$$

حيث ان

B_K هي السعة التنظيمية

لقد اوضح (Drew et al., 1969) و (Nye, 1968) ان تزويد النباتات عن طريق التبادل بالتماس الذي يحصل على سطح الجذر (Contact exchange) غير كاف لتزويد النباتات باحتياجاتها من العناصر الغذائية حيث وجد في نبات **(Lolium perenno)** ان 6% فقط من البوتاسيوم الكلي الذي يحتاجه هذا النبات قد زود فقط عن طريق التبادل بالتماس وبهذا فإن 94% من البوتاسيوم الممتص يجب أن يأتي من المناطق الخارجة عن حدود الشعيرات الجذرية . وهذا يعني ان كمية كبيرة من عنصر البوتاسيوم قد انتقلت الى الجذور عن طريق اخر غير التبادل بالتماس وهذا يعني ان حركة العناصر في التربة لكي تأتي وتنتقل من اماكن بعيدة عن منطقة الشعيرات الجذرية وحتى تصل اليها تعتبر عاملاً مهماً في جاهزية العناصر الغذائية في التربة .



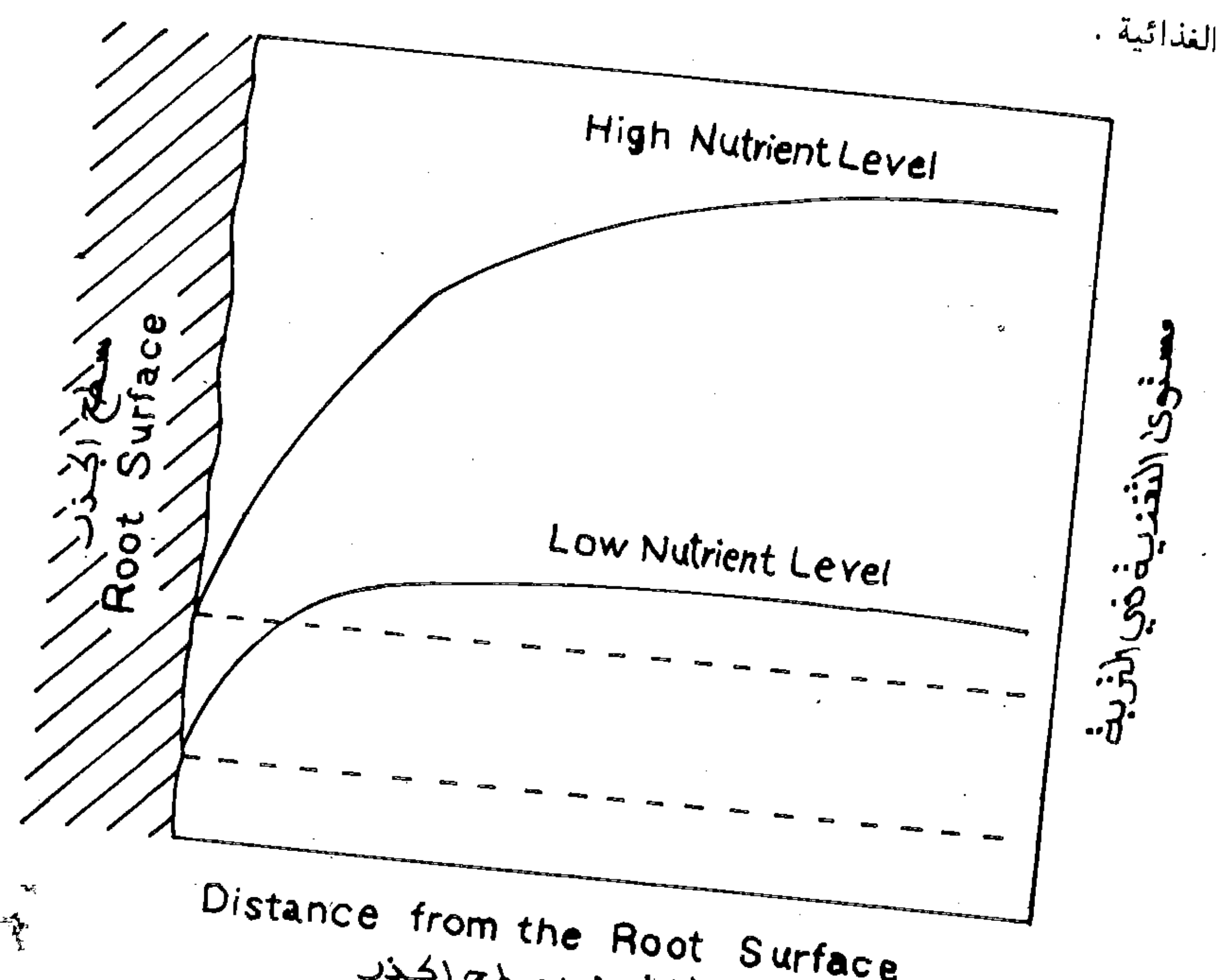
شكل (2-5) يبين العلاقة بين شدة البوتاسيوم وكمية البوتاسيوم لتربتين مختلفتين بالسعة التنظيمية (تربة A عالية ، وتربة B منخفضة) (Nemeth, 1975)

ان جذور النبات التي تمتص العناصر الغذائية من التربة المتاخمة تولد ما يسمى بمنطقة مصرف (Sink) تنتشر اليها العناصر الغذائية . ان استنزاف العناصر الغذائية يعتمد على الموازنة بين التجهيز لمحلول التربة من الطور الصلب (Solid Phase) واحتياج النبات (Plant requirement) . ولهذا السبب فعندما يكون الطلب عاليا للعنصر الغذائي وتركيزه في محلول التربة منخفضا ، فإن الانسياب الكتلي يكون عاجزا عن تلبية احتياج النبات من هذا العنصر وهنا يلعب الانتقال للعنصر الغذائي بواسطة الانتشار الدور الرئيس .

وهذه الحالة تحدث لعنصري البوتاسيوم والفسفور اللذان يعانيان استنزافا حول منطقة الشعيرات الجذرية (Nye ,1974) .

ان الاستنزاف النسبي للعناصر الغذائية يقل بازدياد المسافة عن سطح الجذر (Lewis and Quirk ,1967) . وهذه العلاقة مبينة بالشكل (2-6) لنوعين من التراب احدهما ذات مستوى عال من العناصر الغذائية والاخرى ذات مستوى منخفض . ويتضح من الشكل ان التربة ذات المستوى العالي من العناصر الغذائية ذات منحني تركيز حاد ولهذا فإن معدل الانتشار الى جذور النبات يكون اعلى مما

هو عليه الحال في حالة المستوى المنخفض . ان المستوى العالي من العناصر الغذائية في التربة يعطي ايضا تركيزا عاليا على سطوح الجذور والذي يؤدي بدوره الى حدوث امتصاص سريع مقارنة بالتربة ذات المحتوى الواطىء من العناصر الغذائية .



شكل (6-2) استنزاف العنصر الغذائي عند المنطقة المجاورة والمباشرة للجذر لتربة ذات مستوى عال وواطىء من العنصر الغذائي في كتلتها . مأخوذ من (Mengel and Kirkby, 1982).

ان الزيادة او النقص في التركيز (شدة العنصر) تكون مهمة خاصة عندما تكون عملية الانتشار وليس الانسياب الكتلي هي العملية الرئيسية التي يتم بواسطتها انتقال العناصر الغذائية الى منطقة جذور النبات .

وطبقا لما اوضحه (Barber et al., 1963) فإن جزءا صغيرا من الكمية الكلية المطلوبة من البوتاسيوم والفسفور تنقل او تجهز بواسطة الانسياب الكتلي ولهذا فإن الجزء الاعظم من هذين العنصرين يجب ان تنقل بعملية الانتشار الى جذور النبات اذا افترضنا ان الامتصاص الحر وليس النشط هو السائد هنا .

وعندما يكون النتح قليلا فيؤدي ذلك الى ضعف عملية الانتشار اما في ظروف النتح العالي فإن كميات كبيرة من الماء تنتقل الى الجذور حاملة معها موادا ذائبة فيه ومنها ايونات العناصر الغذائية وهذه المواد الذائبة اذا لم تمتص بسرعة فانها تتجمع في المنطقة المجاورة للجذور وهذا يحدث بصورة خاصة لعنصر الكالسيوم .

إن معدل حركة العنصر في التربة يعتمد بدرجة كبيرة على المحتوى الرطوبي للتربة بغض النظر عن الطريقة التي يتحرك بواسطتها العنصر سواء بواسطة الانسياب الكتلي او بواسطة الانتشار .

لقد لاحظ (Graham–Bryce 1967) أن التربة التي تحتوي على ماء بنسبة 23% تمتلك معامل الانتشار يعادل 10^{-7} / سم^{2} / ث للروبيديوم . وعندما كان محتوى نفس التربة من الماء 10% فان معامل الانتشار انخفض واصبح 5×10^{-8} / سم^{2} / ث .

لقد لوحظ ان الترب الجافة قد انعدم فيها انتشار الايون (Rowell et al., 1967) ولهذا فان حركة العناصر الغذائية البطيئة في الظروف الجافة هي العامل المحدد لنمو النبات وليس التأثير المباشر للماء ولهذا السبب ايضا فانه تحت الظروف الجافة فغالبا ما يظهر نقص عنصري الكالسيوم والبورون وكذلك في حالة انخفاض عملية النتح والذي يحدث لها عملية عرقلة عند ارتفاع الرطوبة النسبية للهواء الجوي المحيط حيث ان هذين العنصرين يمتصان بطريقة سلبية مع تيار النتح بواسطة عملية الانتشار البسيط .

ح ـ النبـــات

تختلف النباتات من حيث طبيعة تكوين مجموعتها الجذرية كما انها تختلف في مقدرتها على التعمق والتغلغل في مقد التربة (Profile) . وعموما يمكن القول ان الجذور ذات التمدد الجيد والكثافة الكبيرة يكون لها القدرة الكبيرة على امتصاص العناصر الغذائية .

وفي دراسة قام بها (Jung and Barber 1974) وجدا ان هناك علاقة وثيقة بين امتصاص الفسفور للنبات الواحد وبين طول الجذر ، وهذه العلاقة تكون اكثر وضوحا عندما يكون تركيز الفسفور في محلول التربة او في المحلول المغذي منخفضا ولهذا فان كل العمليات التي تؤثر في نمو الجذور وعملياته الحيوية لها تأثير غير مباشر في امتصاص وجاهزية العناصر الغذائية في التربة .

4) الضـــوء

وهو ضروري لعملية التركيب الضوئي وتحويل الطاقة الضوئيةالى طاقة كيمياوية نتيجة عملية الفسفرة الضوئية (Photophosphorylation) وتكوين الطاقة بشكل Adenosine triphosphate (ATP) . والمعروف ان الامتصاص الحيوي او الفعال يحتاج الى طاقة .

5) الرطوبة النسبية

كلما زادت الرطوبة النسبية للهواء الجوي المحيط قلت عملية النتح وبالتالي قل امتصاص العناصر الغذائية وخاصة تلك التي تمتص عن طريق تيار النتح (مثل عنصري الكالسيوم والبورون) المتعلق بالامتصاص الحر او السلبي او الفيزياوي passive absorption والذي يتم عن طريق الانسياب الكتلي mass flow او الانتشار diffusion أو غيرها من الطرق .

4.2 ـ المحاليل المغذية Nutrient solutions

إن التحكم الدقيق لوسط نمو النبات واجب ضروري ومهم في دراسات تغذية النبات والفسلجة ، فقد اتجه العلماء الى البيئات الصناعية التي تمكنهم من التحكم وبدقة في كمية ونوعية المغذيات المراد تنمية النبات عليها .

ومنذ ان طرح العالم الالماني ليبك آرائه في عام 1840 حول النظرية المعدنية "Mineral theory" وانه بتحليل رماد العينة النباتية فأن كل العناصر الموجودة في هذا الرماد تكون ضرورية للنبات ، فقد انكب العلماء والباحثون على دراسة التركيب المعدني غير العضوي للنبات وللتأكد من صحة آراء ليبك للكشف عن العناصر الغذائية الضرورية للنبات . وحيث ان التربة كما سبق وسط غير متجانس التركيب وانه للكشف عن أهمية عنصر غذائي معين للنبات فانه يجب تنمية النبات في بيئتين او وسطين احداهما تحتوي على جميع العناصر الغذائية والاخرى تحتوي على جميع العناصر الغذائية ما عدا العنصر المراد دراسته . وإن إزالة العنصر الغذائي المعين من التربة ليس بالأمر السهل حيث قد نضطر الى استخدام طرق كيمياوية وميكانيكية خاصة ، الامر الذي قد يؤدي الى تغير بناء التربة وتغيير في خواصها ، وعليه فانه لا يمكن الجزم مطلقا على ان كل التغيرات التي طرأت على النبات تعود فقط الى نقص هذا العنصر حيث ان التغيير في خواص التربة قد يساهم في احداث مثل هذه التغيرات .

هذا وقد وجد العلماء ضالتهم في المحاليل المغذية عندما استعملت لاول مرة من قبل العالمين الالمانيين Sachs and Knop في عام 1865 . والجدول (2-1) يبين المحلول المغذي الذي ابتكره Knop عام 1865 . والشكل (2-7) يوضح النموذج لزراعة النبات في المحاليل الغذائية (Solution culture) حيث يثبت النبات بواسطة الاسفنج او القطن في الفتحة الموجودة في الاصيص حيث تكون جذور النبات مغمورة في المحلول الغذائي كما يضخ الاوكسجين لتنفس الجذور وذلك بامرار تيار هوائي وفي المعتاد تكفي فقاعة واحدة في الدقيقة (بحدود 1-2 سم^3 / دقيقة) . ومن الجدير ذكره انه اذا توفرت جميع العناصر الغذائية الضرورية وبقي pH المحلول المغذي عند المستوى الملائم وكان الضوء ودرجة الحرارة مناسبتين فان النبات ينمو نموا جيدا لا يقل عن احسن الترب الخصبة .

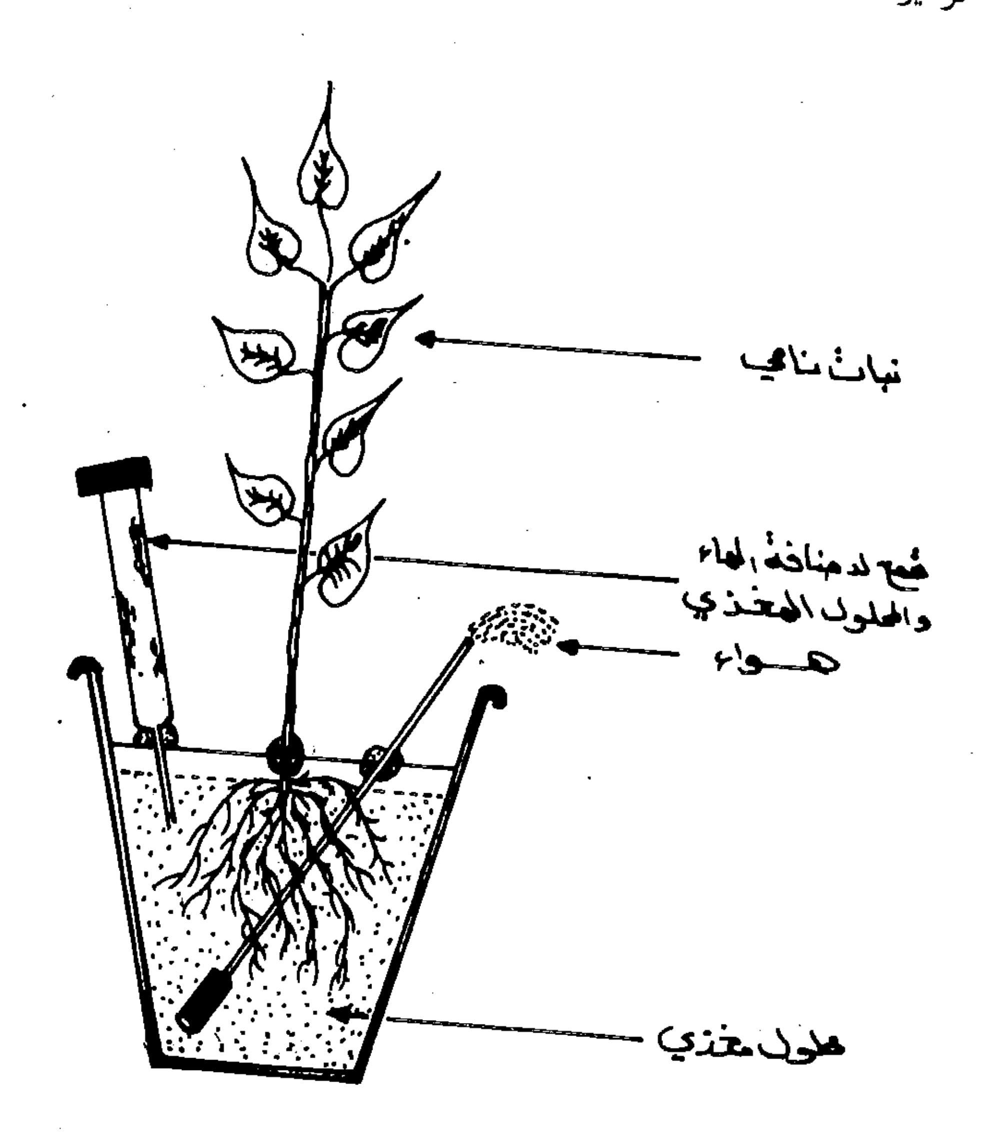
جدول (2-1) يبين المحلول المغذي المبتكر من قبل Knop 1865 عن (Epstein, 1972)

التسلسل	الملح	الكمية غم / لتر ماء مقطر	المولارية M/L
١ ـ نترات الكالسيوم	$Ca(NO_3)_2 . 4H_2O$	0.8	0.003
٢ ـ نترات البوتاسيوم	KNO_3	0.2	0.002
٣ ـ فوسفات البوتاسيوم ثنائية الهيدروجين	KH_2PO_4	0.2	0.0015
٤ ـ كبريتات المغنيسيوم	$MgSO_4 . 7H_2O$	0.2	0.0008
٥ ـ كبريتات الحديدوز	$Fe SO_4 . 6H_2O$	كمية قليلة جداً	

ومما تجدر الاشارة اليه ان الطريقة الحديثة والمطورة من قبل العالمين Hoagland and Arnon عام 1950 لزراعة النباتات في المحاليل المغذية لم يطرأ عليها تغير كبير من ناحية المبدأ . وإن كل ماجرى عليها هو أن المواد الكيمياوية اصبحت أكثر نقاوة كما أمكن السيطرة بدقة على عدم تلوث الاجهزة والمعدات المستخدمة في مثل هذا النوع من الزراعة .

إن التطور في النواحي الكيمياوية والميكانيكية الخاصة بطرق المزارع الغذائية جعلت منها اداة قوية في الابحاث المتصلة في نواحي عديدة في مجال تغذية وفسلجة

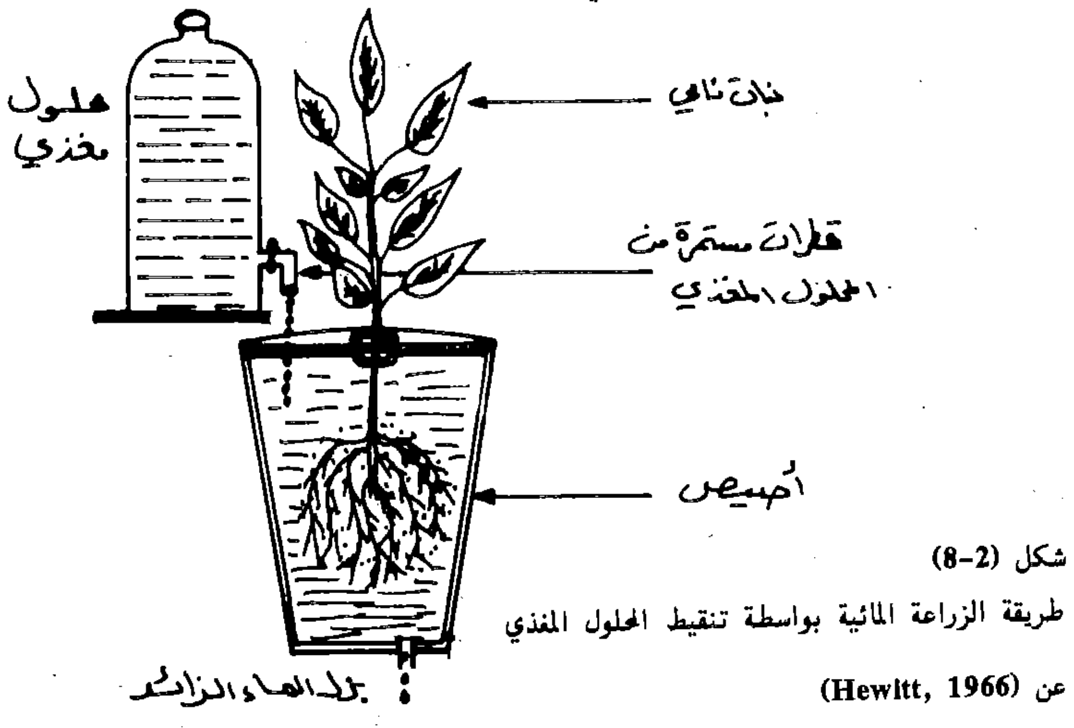
النبات والتمثيل الحيوي للعناصر. وباستعمال طرق خاصة في تنقية المواد الكيمياوية امكن التحكم في بعض العناصر التي توجد كشوائب ليصبح تركيزها واحد جزء بالبليون او اقل، كما انه يمكن التحكم في النتروجين الذائب في المحلول وذلك بضخ مخاليط معلومة من الاوكسجين والنتروجين بدلاً من ضخ الهواء الجوي، كما إنه يمكن اضافة بعض المواد الاخرى بتراكيز محددة مثل مبيدات الحشائش Herbicides أو الفطريات Fungicides او الحشرات Insecticides . كما اصبح بالامكان أيضاً نقل النباتات في اوقات محددة وبدقة من محلول الى آخر تختلف في تركيزها الكيمياوي او ضغطها الازموزي او التركيز الناتج من النظائر المشعة.



شكل (2-7) يبين طريقة الزراعة في المحلول المغذي
Solution culture (= Hydroponic culture)

الشكل مأخوذ من : (Epstein , 1972).

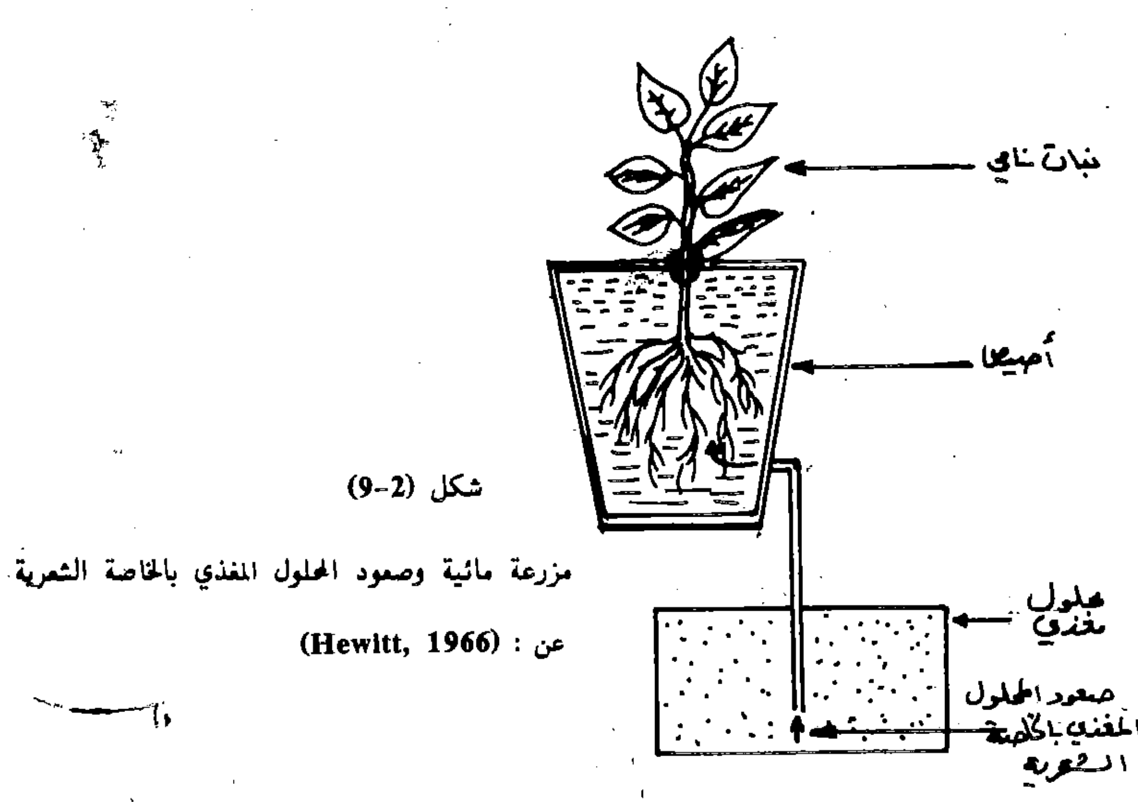
غير ان (Hewitt, 1966) قد اضاف طريقتين اخريين علاوة على هذا التصميم الذي اوضحه (1972, Epstein) في الشكل السابق حيث يوضح الاناء المحتوي على المحلول المغذي بمستوى أعلى من مستوى الاصيص المزروع فيها النبات ثم ينقط المحلول المغذي باستمرار في الاصيص حسب حاجة النبات ويخرج ماء الصرف من فتحة موجودة في نهاية الاصيص كما في شكل (2-8) . اما في شكل (2-9) فإن المحلول المغذي يصعد للنبات النامي في الاصيص بالخاصية الشعرية .



شكل (2-8)

طريقة الزراعة المائية بواسطة تنقيط المحلول المغذي

عن (Hewitt, 1966)



شكل (2-9)

مزرعة مائية وصعود المحلول المغذي بالخاصة الشعرية

عن : (Hewitt, 1966)

وفي السنوات الاخيرة حدث تطور كبير في استعمال المزارع الغذائية في الزراعة حيث قد يستخدم محلول غذائي جاري في انابيب حيث يدخل المحلول المغذي من طرف لهذه الانابيب ويخرج المحلول من الطرف الآخر لهذه الانابيب حيث يضخ مرة أخرى بواسطة مضخة لاعادته الى الخزان الاصلي المستخدم لتزويد النباتات بالمحلول المغذي من جديد . والانابيب التي يجري فيها المحلول المغذي مزودة بفتحات لوضع النباتات المراد زراعتها عليها . وفي هذه الطريقة يمكن بقاء تركيز المحلول المغذي وضغطه الازموزي ودرجة تفاعله (pH) بصورة ثابتة طول فترة اجراء التجربة وهذه من المتطلبات الرئيسية لمثل هذا النوع من الزراعة .

ومما تجدر الاشارة اليه أن اليابانيين قد صنعوا احواضاً كبيرة جداً لوضع المحاليل الغذائية فيها وربوا فيها الاسماك اما السطح العلوي للأحواض فقد استغل لتنمية النباتات بطريقة المزارع الغذائية .

جدول (2-2) يبين المحلول المغذي رقم (1) الذي طوره هوكلاند وارنون عام 1950

الملح	سم^3 في لتر من المحلول المغذي
1 ـ فوسفات البوتاسيوم ثنائية الهيدروجين	1 MKH_2PO_4
2 ـ نترات البوتاسيوم	5 M KNO_3
3 ـ نترات الكالسيوم	5 M $Ca(NO_3)_2.4H_2O$
4 ـ كبريتات المغنيسيوم	2 M $MgSO_4.7H_2O$

هذا وقد طور Hoagland and Arnon عام 1950 بتطوير محلولين غذائيين والتي تعرف حالياً لدى العاملين في مجال تغذية النبات باسم محلول هوكلاند او محاليل التجهيز Stock Solution or Hoagland solution

وهذان المحلولان مبينان في الجدولين [(2-2) ، (2-3)] على التوالي .

جدول (2-3) يبين المحلول المغذي رقم (2) الذي طوره هوكلاند وارنون عام 1950

الملح	سم^3 في لتر من المحلول المغذي
1 ـ فوسفات الامونيوم	1 M $NH_4H_2PO_4$
2 ـ نترات البوتاسيوم	6 M KNO_3
3 ـ نترات الكالسيوم	4 M $Ca(NO_3)_2.4H_2O$
4 ـ كبريتات المغنيسيوم	2 M $MgSO_4.7H_2O$

ويلاحظ ان المحلول رقم (2) يحتوى على النترات والامونيوم كمصدر لعنصر النتروجين في حين ان المحلول رقم (1) يحتوي فقط على النترات كمصدر للنتروجين ولكي تكون هذه المحاليل ملائمة لاجراء البحوث المتعلقة بعلمي تغذية النبات أو فسلجة النبات فيجب ان يكون الماء مقطراً ونقياً bidistilled water كما يجب ان تكون الاملاح نقية وخالية من الشوائب .

ويتم تحضير محاليل التجهيز وذلك باذابة الوزن الجزيئي بالغرام في لتر من الماء المقطر اي تحضير تركيز واحد مولاري من كل منها .

اما المحلول المستخدم في عمليات الري فيؤخذ حسب تسلسل الاملاح الاربعة السابقة حجم مقداره 1 ، 5 ، 5 ، 2 سم^3 ثم يكمل الجميع الى لتر واحد بواسطة الماء المقطر كما في حالة المحلول المغذي رقم (1) او يؤخذ حجم 1 ، 6 ، 4 ، 2 سم^3 كما في حالة المحلول المغذي رقم (2) على التوالي .

ثم يضاف الى كل من المحلولين الغذائيين (1) او (2) المحاليل المحتوية على العناصر الغذائية الصغرى حيث يؤخذ من كل منها بعد تحضيرها حجم مقداره 1 سم^3 ويضاف الى الخليط الذي سبق اخذه من كل من المحلولين (1) أو (2) كما سبق .
والجدول التالي يبين كيفية تحضير المحاليل المكملة للعناصر الغذائية الصغرى والتي تشمل المنغنيز ، النحاس ، الزنك ، البورون ، والمولبدنم .

جدول (2-4) تحضير المحاليل للعناصر الغذائية الصغرى .
عن : (Epstein, 1972)

المركب		غم مذاب في لتر من الماء المقطر
1 ـ حامض البوريك	H_3BO_3	2.86
2 ـ كلوريدَ المنغنيز	$MnCl_2.4H_2O$	1.81
3 ـ كبريتات الزنك	$ZnSO_4.7H_2O$	0.22
4 ـ كبريتات النحَاس	$CuSO_4.5H_2O$	0.08
5 ـ حامض المولبديك	$H_2MoO_4.H_2O$	0.02
6 ـ ترتراتَ الحديدَ		0.5% بمعدل 1 سم^3 في لتر من الماء

ملاحظة : يفضل تحضير محلول خاص بعنصر الحديد وعدم اضافته الى اي من المحلولين السابقين (1) أو (2) وذلك خوفاً من عمليات الترسيب التي قد تحدث . ويتم السقي بالتبادل اي يسقي مرة بأي من المحلولين سواء استخدم المحلول المغذي رقم (1) او رقم (2) والمضاف اليه العناصر الغذائية المبينة في الجدول رقم (2-2) او (2-3) والمرة الاخرى من الري يستخدم فيها المحلول المحتوي على الحديد فقط .

كما يفضل دائماً ان يحضر محلولاً جديداً للحديد اي قبل عملية الري مباشرة خوفاً من حدوث عملية ترسيب الحديد .

هذا وقد يضاف الحديد بشكل مركب عضوي معقد (Iron Sesquesterine 330) وذلك باذابة 24 غم من هذا المركب في لتر واحد من الماء المقطر ثم يؤخذ منه حجم 2 سم^3 لكل لتر من المحلول المغذي المراد الري به .

كما يمكن ايضاً استخدام ملح كلوريدالحديدوز Ferrous chloride وذلك باذابة 10 غم من هذا الملح في لتر من الماء المقطر ثم استعمال 2 سم^3 من هذا المحلول لكل لتر واحد من المحلول المغذي المستخدم للري .

وحالياً يمكن استخدام الحديد المخلبي Fe-EDTA كمصدر لعنصر الحديد (حيث Iron-Ethylene diamine tetra acetic acid

يذاب 1340 ملغم من مادة Iron-disodium ethylene diamine tetra acetate
$Fe\text{-}(Na_2 C_{10} H_{14} O_8 N_2 2H_2O)$

في 500 سم[3] من الماء المقطر ويسخن ويضاف له وهو ساخناً 900 ملغم من كبريتات الحديدوز ($FeSO_4.7H_2O$) والمحتوية على 20% حديد ثم يحرك جيداً) .
ومن هذا المحلول المحضر يؤخذ حجم 2 سم[3] لكل لتر واحد من المحلول المغذي المستعمل في عملية الري .

ومما تجدر الاشارة اليه ان (1953 Evan and Nason,) قد ابتكرا محلولاً غذائياً والمبين في الجدول رقم (5-2) . كما قام 1957 Johnson **et al.**, باجراء بعض التحويرات على المحلول المغذي رقم (2) والمطور من قبل هوكلاند وارنون عام 1950 .

جدول (5-2) : توضيح المحلول المغذي المبتكر من قبل
Evan and Nason, 1953

التركيز بالـ PPm للعنصر	التركيز بالـ Molar		الملح
	0.005	$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	نترات الكالسيوم
	0.0025	K_2SO_4	كبريتات البوتاسيوم
	0.005	KH_2PO_4	فوسفات البوتاسيوم
	0.002	$MgSO_4.7H_2O$	كبريتات المغنيسيوم
9		KCl	كلوريد البوتاسيوم
0.25		$MnSO_4.H_2O$	كبريتات المنغنيز
0.5		Fe-Versenate	فرسينات الحديد
0.25		H_3BO_3	حامض البوريك
0.25		$ZnSO_4.7H_2O$	كبريتات الزنك
0.02		$CuSO_4.5H_2O$	كبريتات النحاس
0.02		$Na_2MoO_4.2H_2O$	مولبدات الصوديوم

جدول (6-2) يبين المحلول المغذي المطور من قبل العناصر الغذائية Johnson et al., 1957

المركب / الوزن الجزيئي	تركيز المحلول الاصلي بالغرام	تركيز المحلول الاصلي بالمول	تركيز المحلول الاصلي غم/ لتر	الحجم من المحلول الاصلي المستعمل [illegible]/ لتر من المحلول المغذي	العنصر	التركيز النهائي للعنصر بالميكرومول µM	التركيز النهائي ppm
أ ـ العناصر الغذائية الكبرى Macronutrient							
KNO_3	101.10	1.0	101.0	6	N	16000	224
					K	6000	235
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	236.16	1.0	236.16	4	Ca	4000	160
$NH_4H_2PO_4$	115.08	1.0	115.08	2	P	2000	62
					S	1000	32
$MgSO_4.7H_2O$	246.49	1.0	246.49	1	Mg	1000	24
ب ـ العناصر الغذائية الصغرى Micronutrients							
KCl	74.55	50	3.728	1	Cl	50	1.17
H_3BO_3	61.84	25	1.546	1	B	25	0.27
$MnSO_4.H_2O$	169.01	2	0.338	1	Mn	2	0.11
$ZnSO_4.7H_2O$	287.55	2	0.575	1	Zn	2	0.131
$CuSO_4.5H_2O$	249.71	0.5	0.125	1	Cu	0.5	0.032
$H_2M_0O_4H_2O$ (85% MoO_3)	161.97	0.5	0.081	1	Mo	0.5	0.05
Fe-EDTA	346.08	20	0.922	1	Fe	20	1.12

ملاحظة : توضيح لمحتويات الجدول رقم (6-2)

أ) عند اذابة الوزن الجزيئي بالغرام في لتر واحد ويكمل اللتر للعلاقة بالماء المقطر فاننا نحصل على محلول تركيزه مول واحد اي واحد مولاري .

ب) المول/ لتر = 1000 مليمول/ لتر ($1M = 1000\ mM$) والمليمول/ لتر =1000 ميكرومول/ لتر ($1m\ M = 1000\ \mu M$)

جـ) عند اخذ حجم مقداره x سم^3 من المحلول الذي تركيزه مول في اللتر وتكملة هذا الحجم الى لتر واحد بالماء المقطر فاننا نحصل على محلول تركيزه x مليمول في اللتر .

ولذلك فعند اخذ حجم مقداره 6 مل (سم^3) من المحلول المولاري لنترات البوتاسيوم ونكمل هذا الحجم الى لتر واحد بالماء المقطر فاننا نحصل على محلول تركيزه 6 مليمول / لتر لكل من NO_3^- , K^+ وهو في نفس الوقت يساوي تركيز 6000 ميكرومول/ لتر لكل منهما .

د) بالنسبة للعناصر الاحادية التكافؤ فان الوزن الجزيئي يساوي الوزن المكافيء حيث ان :

الوزن الجزيئي = الوزن المكافيء × التكافؤ

الوزن الجزيئي = الوزن المكافيء × ١

اذن الوزن الجزيئي = الوزن المكافيء

وهذا يعني ان محلول تركيزه واحد مولاري فانه يساوي في نفس الوقت محلول واحد عياري حيث ان العيارية تساوي الوزن المكافيء بالغرام/ لتر من الماء المقطر وبعبارة اخرى فانه لمثل هذه الاملاح (KCl , KNO_3) فان المليمكافيء / لتر = المليمول/ لتر حيث ان التكافؤ واحد .

هـ) وبالنسبة للعناصر الثنائية التكافؤ مثل الكالسيوم او المغنيسيوم فانه في هذه الحالة

المليمكافيء / لتر = المليمول/ لتر × التكافؤ

فمثلا المليمكافيء / لتر من الكالسيوم

$= 4 \times 2 = 8$

وحيث ان الملح يكون دائما في حالة اتزان فانه يجب ان يكون ايضا هناك عدد 8 مليمكافيء من NO_3 في ملح $Ca(NO_3)_2.4\ H_2O$ او 4 مليمول/ لتر لكل من الكالسيوم والنترات .

و) وحيث ان الـ pp^m = المليمكافيء/ لتر × الوزن المكافيء

اي = (المليمول/ لتر × التكافؤ) × الوزن المكافيء

فانه في حالة عنصر مثل الكالسيوم

$PPm\ Ca$ = المليمول/ لتر × التكافؤ × الوزن المكافيء

$= 4 \times 2 \times 20 = 160$

وفي حالة عنصر البوتاسيوم

$ppm\ K = 6 \times 1 \times 39 = 234$

وفي حالة النتروجين (مجموع النترات + الامونيوم في الاملاح المستخدمة)

$ppm\ N$ = المليمول/ لتر × التكافؤ × الوزن المكافيء

$= (6 + 8 + 2) \times 1 \times 14$

$= 16 \times 14 = 224$

حيث 6 مليمول/ لتر من ملح KNO_3 (حيث استعمل 6 سم^3)

، 8 مليمول/ لتر من ملح $Ca(NO_3)_2.4H_2O$

(حيث استعمل 4 سم^3).

2 مليمول/ لتر من ملح $NH_4\ H_2\ PO_4$

(حيث استعمل 2 سم^3).

هذا ويمكن توضيح ذلك بدرجة اوضح كما يلي :

١) يستخرج اولا عدد المليمكافئات/ لتر لتطبيق المعادلة

المليمكافيء/ لتر = المليمول/ لتر × التكافؤ

ففي حالة الكالسيوم في ملح نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2.4\ H_2O$ وحيث اننا استعملنا من هذا الملح حجما مقداره 4 سم^3

فيكون عدد المليمكافئات من الكالسيوم = $4 \times 2 = 8$

وهذه في نفس الوقت = 8 مليكافيء/ لتر من الـ NO_3

وحيث ان المحلول المغذي يجب ان يكون في حالة اتزان بمعنى ان عدد المليكافئات من الكاتيونات الموجبة الشحنة يجب ان يساوي دائما عدد المليكافئات من الشحنات السالبة فانه يمكن استخراج ذلك بعمل الجدول التالي لعدد المليكافئات/ لتر.

جدول (2-7) يوضح عملية التوازن الايوني (عدد الملكيافئات/ لتر) من الكاتيونات والانيونات

	Ca	K	Mg	NH_4	NO_3	H_2PO_4	SO_4
KNO_3	–	6	–	–	6	–	–
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	8	–	–	–	8	–	–
$NH_4H_2PO_4$	–	–	–	2	–	2	–
$MgSO_4.7H_2O$	–	–	2	–	–	–	2
			18			18	

مما تقدم يمكن القول أن مزرعة المحلول المغذي (Solution Culture) عبارة عن وسط تنمي فيه النباتات في غير وسط التربة الطبيعية وتستمد النباتات النامية غذاءها من محلول يحتوي على جميع العناصر الغذائية الكبرى والصغرى الضرورية لحياتها وهذه العناصر توجد بنسب معلومة وفي حالة إتزان .

5.2 ـ انواع المزارع الغذائية الاصطناعية :

يمكن تقسيم المزارع الغذائية الاصطناعية من حيث طبيعة وسط النمو الى الانواع الآتية :

1) المزارع المائية : **Water Culture**

وفيها يكون وسط النمو هو المحلول المغذي الذي يوضع في أوعية أو احواض خاصة .

2) مزارع الوسط الصلب الحبيبي : **Aggregate culture**

وفيها يكون وسط النمو مادة صلبة خالية تقريبا من العناصر الغذائية الضرورية وعلى شكل حبيبات توضع في اوعية ويضاف لها المحلول المغذي بصفة مستمرة . ويمكن تقسيم هذا النوع من المزارع الى :

أ) المزارع الرملية **Sand cultures**

ويكون فيها وسط النمو عبارة عن رمل الكوارتز النقي الذي لايزيد قطر حبيباته عن 2 ملم .

ب) مزارع الحصى **Gravel cultures**

وفيها يستعمل الحصى الذي يزيد قطر حبيباته عن 2 ملم .

جـ) مزارع مواد التبادل **Exchange materials**

وتتميز حبيبات هذا الوسط بأن سطوحها ذات طبيعة فعالة حيث يتم عليها تبادل الكاتيونات والانيونات .

وتمتاز هذه المزارع بأن العناصر الغذائية توجد على سطوح الحبيبات بشكل متبادل وكذلك في المحلول الذي يمكن أن يطلق عليه « المحلول البيني » والعناصر توجد في كلا الوسطين الصلب والسائل (المحلول البيني) في حالة اتزان Equilibrium . ويوجد نوعان من مزارع مواد التبادل :

1) مواد راتنجية مصنعة Synthetic resins

2) معدن الطين الطبيعي Natural clay mineral

ويعتبر معدن الطين الطبيعي اقرب أنواع المزارع الغذائية الى التربة العادية . ويفضل عادة الطين الغروي الذي لاتزيد اقطاره عن 0.2 ميكرون (الميكرون = $\frac{1}{1000}$ ملم) ، وفيا يلي موجز مبسط ومختصر عن كل من المزارع المائية والمزارع الرملية .

المزارع المائية : Water Cultures

مزاياها :

1) يمكن التحكم وبدقة كبيرة حاليا في تحديد كمية ونوعية العناصر الغذائية المراد اجراء البحوث فيها .

2) في حالة الدراسات التي يهمنا فيها دراسة المجموعة الجذرية فإن المزارع المائية تقدم لنا وسيلة فعالة حيث يمكن الزراعة في المحلول المغذي من امكانية الحصول على المجموعة الجذرية ودون تعرضها للقطع كما يمكن ملاحظة وتتبع الجذور في اي وقت نشاء وفي مراحل نمو النبات المختلفة .

3) سهولة نقل النباتات النامية من اصيص الى آخر او من محلول مغذي الى محلول مغذي آخر اذا ماتطلبت الدراسة ذلك ودون تعرض الجذور للقطع .

4) في البلدان المتقدمة يمكن استخدامها كثنائية الغرض حيث يمكن تربية الاسماك في الاحواض الكبيرة المخصصة لوضع المحلول المغذي وكذلك زراعة النباتات عليها في نفس الوقت كما لوحظ ذلك مؤخرا في اليابان .

مساوئها :

1) مكلفة من الناحية الاقتصادية وتحتاج الى خبرة معينة .

2) قد تتعرض النباتات النامية للتكسر لعدم ثبات جذورها .

3) يجب تهوية المحلول المغذي باستمرار .

4) يجب تبديل المحلول المغذي بين فترة واخرى (من عشرة ايام الى اسبوعين) حيث أن تركيز العناصر عرضة للتغير بسبب امتصاص العناصر الغذائية بدرجات متفاوتة من قبل جذور النباتات ويشترط أي يظل تركيز المحلول المغذي وكذلك ضغطه الازموزي (والذي يتأثر باختلاف التركيز) ، ثابتا طول فترة اجراء التجربة . كما أن الـ pH يجب أن يظل في المدى الملائم .

5) يجب تهيئة الظلام اللازم للمحلول المغذي ولذلك تحتاج الى اصص خاصة مظلمة لمنع مرور الضوء والذي يشجع نمو الطحالب وخاصة عند منطقة اتصال الساق بالمحلول المغذي .

6) يجب أن تظل درجة حرارة المحلول المغذي ثابتة تقريبا لكل الاصص ولذلك يعمل حوض كبير عليه فتحات لوضع الاصص والحوض يملأ بالماء الاعتيادي .

7) في حالة اضافة صورة النترات فقط كمصدر لعنصر النتروجين وحيث أن لها تأثير فسيولوجي قاعدي فأن ذلك يؤدي الى رفع درجة تفاعل المحلول المغذي وقد تتعرض العناصر الغذائية الصغرى وهي الحديد ، المنغنيز ، الزنك ، النحاس والبورون لعملية الترسيب وبالتالي نقل جاهزيتها للنبات .

المزارع الرملية : **Sand cultures**

وفيها يزرع النبات كما سبق في الرمل النظيف الذي ينخل أولا بالمنخل لأزالة ما به من حصى أو أية كتل يزيد قطرها عن 2 ملم وكذلك لأزالة ما بالرمل من شوائب كالقش أو العيدان . ثم يغسل الرمل عدة مرات بحامض الهيدروكلوريك المخفف (واحد عياري) ويحضر باضافة لتر من الحامض المركز الى 11 لتر من الماء المقطر .

ثم يصفى الحامض اولا قبل غسله ثم يغسل عدة مرات بالماء الاعتيادي ثم يكشف عن خلو الحامض من الرمل بواسطة ورقة عباد الشمس (Litmus paper) حيث أن هذا الحامض المخفف والذي هو واحد عياري كما سبق الذكر تكون درجة تفاعله تساوي صفرا حيث أن الـ pH

$$pH = -\log_{10}(H^+)$$
$$= \log_{10}(1)$$
$$= 0$$

والغسل بالحامض يمكننا من التخلص من الشوائب مثل المادة العضوية أو الأملاح التي لا تزول بالماء الاعتيادي مثل كاربونات وكبريتات الكالسيوم والمغنيسيوم. وتزود المزرعة الرملية بالمحلول المغذي أما بأضافته من أعلى مباشرة باليد أو بواسطة تنقيطه قطرة قطرة أو باستعمال التغذية الجوفية (Subirrigation) حيث صعود المحلول المغذي من اسفل الأصيص الى الجذور بالخاصية الشعرية (Capillary) ويمكن استخدام أصيص خاصة في حالة اجراء البحوث والمصنوعة من البولي أثلين والخالية تماما من العناصر الغذائية كما يمكن استخدام أصيص مصنوعة من الصاج أو الفخار بعد طليها جيدا وفي المعتاد يكون اسفل الأصيص أو على أحد جوانبه السفلية مزود بفتحة لتصريف المحلول المغذي والماء الزائد بعد وضع إناء لجمع الماء واعادة اضافته الى الاصيص مرة أخرى حتى لا يفقد اي من العناصر الغذائية المضافة.

مزايا المزرعة الرملية :

1) لا تحتاج الى تهوية حيث أنها تهيىء التهوية المطلوبة.
2) لا تحتاج الى أصص مظلمة حيث أنها تهيىء الظلام الكافي للجذور.
3) النباتات غير معرضة للتكسر حيث أن جذورها تكون مثبتة بطريقة تشبه طريقة الزراعة في الترب.
4) أقل كلفة وأسهل من ناحية التطبيق حيث لا تحتاج الى ضخ الهواء أو تبديل المحلول المغذي أو الى دعامات إسناد النباتات وعدم تعرضها للميل والتكسير.

أما عيوب المزرعة الرملية فهي :

1) صعوبة الحصول على رمل الكوارتز النقي وخالي تماما 100% من العناصر الغذائية أو الشوائب.
2) لا يمكن مراقبة نمو الجذور أو الحصول عليها كاملة.

6.2 ـ الاغراض التي تستخدم فيها المحاليل المغذية :

1) دراسة أهمية العناصر الغذائية للنبات.
2) دارسة اعراض النقص أو السمية للعناصر الغذائية.
3) دراسة العلاقة بين العناصر الغذائية سواء داخل النبات أو خارجه مثل دراسة كمية ونوعية الاسمدة الفوسفاتية على امتصاص العناصر الغذائية الصغرى.

4) دراسة معدل امتصاص النباتات للعناصر الغذائية المختلفة وتراكم هذه العناصر بداخل النبات .
5) دراسة تأثير pH المحلول المغذي وتركيز الاملاح والضغط الازموزي للمحلول المغذي على نمو النبات .
6) يمكن استخدام مزارع المحاليل المغذية في زراعة بعض انواع الزهور والخضروات والتي تحقق ربح تجاري كبير .

7.2 ـ الجهد الازموزي لوسط نمو النبات .

The osmotic potential of the plant growth media

إن أساس الحياة يرتبط ارتباطا وثيقا بوجود الماء خصوصا عندما يكون الماء في حالة السيولة . فهو مصدر لعنصر الهيدروجين والذي يعتبر ضروريا لكل الجزيئات العضوية . وهو مذيب لكثير من المواد كالاملاح والتي تعتبر المصدر الرئيسي لآيونات العناصر الغذائية في التربة كما أنه مذيب للسكريات والانيونات العضوية ويعتبر الماء الوسط الذي تحدث فيه كل التفاعلات الكيمياوية الحيوية للنبات (Chemical reaction of metabolism) . والماء في الحالة السائلة يسمح بانتشار المواد المذابة (diffusion of solutes materials) وجريانها او انسيابها الكتلي (mass flow) ولهذا فأن الماء ضروريا لأمتصاص (absorption) وأنتقال المغذيات (nutrieuts transport) ونواتج التفاعلات الحيوية(Products of biochemical reactions of metabolism) الى باقي أعضاء النبات الاخرى .

علاوة على ذلك فأن الماء يلعب دورا مهما في الفجوات العصارية للنباتات حيث يسبب ضغطا على بروتوبلازم وجدار الخلية والذي يعرف بالضغط الانتفاضي ψp (turgor pressure) وبذلك فأنه يحافظ على صلابة (rigidity) الاوراق والجذور وغيرها من الاعضاء النباتية .

إن الاساس المقترح من قبل (1967 Slatyer) حول الجهد المائي ψw (Water potential) كان له الفضل في فهم الاساس العلمي للعمليات التي يساهم فيها الماء .

إن مصطلح الجهد المائي يوضح ما موجود من قوة او طاقة كيمياوية دافعة او كامنة في الماء ويمكن تعريف الجهد المائي بأنه الفرق في الجهد الكيمياوي (chemical potential) الناتج عن الفرق في تركيز المحلول المائي (الماء المحتوي على مواد ذائبة فيه) وبين تركيز الماء النقي الحر تحت درجة حرارة واحدة ولوحدة حجم واحدة .

ويمكن توضيح ذلك بالمعادلة الآتية : --

$$\psi W = \frac{\mu W - \mu W}{V_W}$$

حيث أن :

ψW = الجهد المائي لوحدة erg/mole والذي قد يعطي له الرمز ψ_c تعبيرا عن جهد الخلية ψ_{cell} (cell potential) في مص الماء والذي يسبب ضغطا كان يسمى سابقا بضغط المص SP (Suction pressure) والذي يكون مسؤولا عن المحصلة النهائية لحركة الماء .

وهو يمثل ايضا نقص الضغط الإنتشاري (diffusion pressure deficit) .

μW = الجهد الكيمياوي للنموذج المائي تحت الدراسة بوحدة erg/mole

$\mu^\circ W$ = الجهد الكيمياوي للماء النقي الحر تحت نفس درجة الحرارة بوحدة erg/mole

V_W = الحجم المولاري الجزئي Partial molal volume of water) للماء في النظام بوحدة cm^3/mole

وبالتعويض عن هذه الوحدات في المعادلة السابقة تصبح المعادلة كما يلي :

الجهد المائي ψ_w = $\frac{\text{إرك}}{\text{سم}^3}$ $\left(\frac{erg}{Cm^3}\right)$

أي أن وحدة قياس الجهد المائي هي وحدة طاقة/ وحدة الحجوم

أي أن ψ_W = $\frac{\text{إرك / مول}}{\text{سم}^3\text{ / مول}}$ = $\left(\frac{E_{rg}}{Cm^3}\right)$

وحيث ان الارك = القوة × المسافة (Force × distance)

= $\frac{\text{داين × سم}}{\text{سم}^3}$ $\left(\frac{Dyne \times Cm}{cm^3}\right)$

= $\frac{\text{داين}}{\text{سم}^2}$

ومن هنا يتبين ان وحدة الجهد المائي هي وحدة الضغط . والضغط يقاس عادة بـالبـار (bar) او ضغـط جوي (Atmosphere) (Atm) والبـارا يعـادل (10^6 داين/ سم^2) .

والبار يعادل أيضا 0.987 ضغط جوي (Atm)
وافترض ان الجهد المائي للماء النقي الحر يساوي صفرا وهذا يعني ان نشاط حركة جزيئات الماء المقطر النقي الحر اعلى مايمكن ويقل الجهد المائي للماء كلما زاد تركيز المواد المذابة فيه اي يقل نشاط حركة جزيئاته بزيادة المواد المذابة في الماء .

ولقد وجد ان الجهد المائي للانسجة النباتية يتراوح مابين (-10 الى -20 بارا وقد يصل الى (-30) بارا في بعض الحالات (Holley 1966) في حين ان الجهد الازموزي (الضغط الازموزي) للمحاليل المغذية في حدود (-0.5 الى -1) بارا . أما الجهد الازوموزي لمحاليل التربة غير الملحة والحاوية على كمية من الماء فهو يماثل تقريبا الجهد الازموزي للمحاليل المغذية ويتراوح من (-1 الى -2) بارا .
هذا ويتأثر الجهد المائي بعدد من العوامل ومنها الضغط الهيدروستاتيكي الخارجي المعرض له الماء ووجود المواد الذائبة في الماء (solutes) والقوى المرتبطة بـالسطوح الصلبـة والسائلـة ψ_m (matric Forces) بالاضافة الى التأثيرات الكهربائية الناجمة عن الشحنات الموجبة والسالبة للآيونات أو الشحنات السالبة والموجبة لغروبات التربة والمسماة بالطبقة الكهربائية المزدوجة (Electrical double layer) او الشحنة السالبة لجدار الخلية وغشاء البلازما (Plasmalemma) وتأثيرات الجاذبية (Gravity) ربما تكون ذات أهمية في بعض الحالات الخاصة ولكن غالبا ماتهمل هذه التأثيرات مثلما يهمل كذلك تأثير درجة الحرارة ψ_t (temperature) ويؤخذ بنظر الاعتبار بالنسبة للنبات ثلاثة مكونات للجهد المائي أي ان :

$$\psi_w = \psi_p + \psi_s + \psi_m$$

حيث ان :

ψ_w = الجهد المائي **Water patential**

والذي يمثل القوى المحركة لانتقال الماء والناتج عن الفرق بالجهد المائي بين نقطتين والذي يمثل الفرق في التركيز بين المحلولين والذي يشير الى الفرق في القوة او الطاقة الكيمياوية الدافعة او الكامنة للماء معبرا عنها بالضغط الجوي او بالبار .

ψ_p = ضغط الانتفاخ **Turgor pressure**
والذي يعبر عن القوة المبذولة على غشاء الجدار الخلوي وغشاء البلازما من داخل الخلية الى الخارج بوحدة الضغط الجوي

ψ_s = **هي الفرق في الجهد الاوزموزي** **(Osmotic pressure)**
والذي كان يسمى سابقا بالضغط الاوزموزي (Osmotic pressure) والناتج عن المواد الذائبة وهو يمثل القوى المحركة لجزيئات الماء من محلول التربة الخارجي الى داخل الخلية (المحلول الداخلي) بوحدة الضغط الجوي
ψ_m = وهو ناتج عن تأثير السطوح الصلبة في الطور المائي (Water phase) ويسمى هذا المكون بجهد التشرب (matric porential) حيث أن الماء يمكن أن يحيط بجزيئات كبيرة مثل البروتينات والسكريات المتعددة بواسطة أواصر الهيدروجين (Hydrogen bonds) وبوحدة الضغط الجوي .

وبهذه الكيفية يمكن أن تتشرب (Imbibition) سطوح الخلايا والاغشية بالماء . علاوة على هذا التأثير الامتصاصي فقد يحمل الماء شعريا (capillary) بواسطة تأثيرات الشد السطحي (Surface tension) وهذه القوى هي التي يطلق عليها بالـ (matric forces) . وبما ان هذه القوى تعرقل حركة الماء فأنها تؤدي الى خفض الجهد المائي ولهذا فإن قيمة ψ_m تكون سالبة . في حين ان قيمة ضغط الانتفاخ تزيد من قيمة الجهد المائي ولذلك فأنها تحمل اشارة موجبة غالباً .

وفي جسم النبات الحديث العمر تكون نسبة الماء المقيد بواسطة قوى الـ matric قليلة جدا (Wiebe and AL-Saadi, 1976) ولذلك فأنها تهمل غالبا ويكون لها أهمية في التربة أو عندما تكون الانسجة النباتية قد استغلت اكثر من 50% من محتواها المائي ويصبح الجهد المائي مكونا فقط من مكونين وكما يلي : —

$$\psi_w + \psi_p + \psi_s$$

ان وجود المواد الذائبة في الماء يؤدي الى تقليل تركيز الماء وبعبارة ادق يؤدي الى تقليل نشاط حركة جزيئاته وهذا بدوره يخفض الجهد المائي وبالتالي قلة قابلية نفاذ الماء أي انتشاره من المحلول الخارجي الى داخل النبات .

فمثلاً بالنسبة لمحلول سكروز تركيزه 0.1M فإن جهده المائي يكون اقل بمقدار 2.27 بارا عن الجهد المائي للماء المقطر النقي الحر تحت نفس درجة الحرارة

والضغط . إن الجهد الازموزي ψ_s هو دائما دو قيمة سالبة أي اقل من صفر والذي هو قيمة الجهد المائي للماء الحر النقي ، كما سبق ذكر .

اذا اخذنا بنظر الاعتبار الجهد المائي لنسيج نباتي مثل خلايا النسيج المتوسط في الورقة (Mesophyll) فإن نسبة عالية من الماء موجودة في الفجوات (90%) والتي تحتوي أيضا على كميات كبيرة من المواد الذائبة في السايتوبلازم اما جدران الخلايا فيوجد حوالي 5% ماء والتي تكون معرضة للقوى من نوع matric .

ان كلا من قوى الـ matric والمواد الذائبة ψ_s تخفض من الجهد الازموزي (اي تزيد عن قيمته السالبة) ولهذا السبب فإن الجهد المائي لأجزاء النبات (الاوراق ، السيقان ، الجذور) تكون اعتياديا سالبة غير انه تحت ظروف معينة ربما يكون الضغط الهيدروستاتيكي في الفجوات عاليا فيؤدي هذا الى حصول الجهد المائي على قيمة الصفر في حالة الانتفاخ.ان الجهد المائي يمثل القوى المحركة لانتقال الماء وان حركة الماء في الخلايا والانسجة النباتية تحصل من الجهد المائي العالي (الاقل تركيزا اي ذو المحتوى المنخفض من المواد المذابة) الى الجهد المائي الواطيء (الاكثر تركيزا اي ذو المحتوى العاليَ من المواد المذابة) .

وطبقا لفرضية (Calenary) فإن حركة الماء بين نقطتين تعتمد على الاختلاف بالجهد المائي وعلى مقاومة الجريان او السريان او الانسياب الكتلي (Mass flow) ومثل هذه المقاومات في النبات هي جدران الخلايا والاغشية الحيوية والكيوتيكل وغيرها ولهذا فإن معدل جريان الماء يمكن توضيحه بالمعادلة الاتية :

$$F = \frac{\psi_w}{R} \quad \text{أي} \quad F = \frac{\psi_1 - \psi_2}{R}$$

حيث ان :

$$\psi_w = \psi_1 - \psi_2$$

ψ_w = الجهد المائي

$\psi_1 - \psi_2$ = الفرق بالجهد المائي بين نقطتين والذي يمثل الفرق في التركيز بين المحلولين والذي يشير الى الفرق في القوة او الطاقة الكيمياوية الدافعة او الكامنة للماء معبرا عنها بالضغط الجوي او بالبار

R = المقاومة بوحدة Sec /cm
F = معدل الجريان الكتلي وتساوي كمية السائل النافذة او المنتشرة (عدد الجزئيات) خلال وحدة مساحة المقطع العرضي للغشاء وفي وحدة الزمن (مول/سم^2. ثانية).

8.2 ـ انتشار المواد الذائبة وحركة الماء الى داخل وخارج الخلايا :

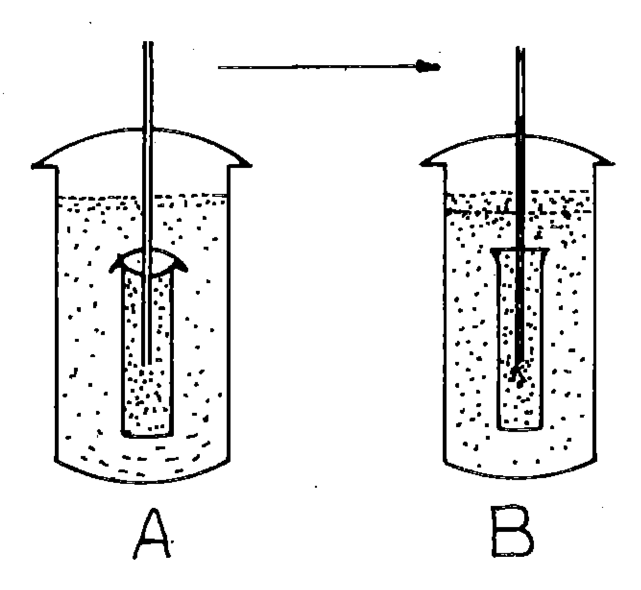
أن مقدار ماينتقل من مادة ما من خلية الى اخرى او التي تدخل او تخرج من الاوراق بواسطة الانتشار البسيط (Simple diffusion)يتوقف على معدل الانتشار وكذلك على نفاذية الاغشية الخلوية .
وبصفة عامة فإن العوامل التي تؤثر على انتشار الغازات هي بدورها تؤثر على معدل انتشار المواد السائلة والصلبة الا ان انتشار الغازات يفوق الاف المرات انتشار المواد الصلبة وهذا يرجع اولا لان الوزن الجزيئي للمواد الصلبة اعلى منه للغازات وثانيا لان كثافة المواد الصلبة تفوق كثيرا كثافة الهواء .

أما حركة الماء عبر الاغشية الخلوية فقد ينظر اليها بمنظار آخر يختلف عن حركة المواد الذائبة وكذلك تختلف عن الانتقال الحيوي حيث اجريت دراسات عديدة لمعرفة ما اذا كان انتقال الماء عبر الأغشية الخلوية مرتبطا ببذل طاقة من قبل النبات الحي ويمكن أن تعتمد حركة الماء على ظاهرة التنافذ او التناضح (Osmosis) . والتناضح عبارة عن عملية انتشار المحاليل خلال الاغشية شبه النفاذة . والمذيب في هذا النظام هو الماء دائما كما في الشكل (2-10) .

9.2 ـ التناضح في خلايا النبات Osmosis in plant cells

إن الازموزية في الخلايا النباتية تبدو أكثر تعقيدا عما هو عليه الحال في النظام الازموزي الصناعي . حيث أن الضغط الازموزي للخلية والذي يسمى حديثا بالجهد الازموزي (Osmotic pressure = Osmotic potential) دائما في تغير نظرا لدخول المواد الذائبة في تفاعلات كيمياوية وبالتالي فهي دائمة الحركة بين داخل وخارج الخلية منها ولذلك فهناك تغير مستمر في الضغط الانتفاخي والذي يسمى أيضا بجهد الضغط (Turgor pressure = pressure potential) ، ولذلك من النادر أن تصل الخلية النباتية الى حالة الاتزان (equilibrinm) والذي يحدث عادة للنظام الفيزياوي الصرف (Purely physical system) .

ويلاحظ زيادة في حجم الخلية النباتية نتيجة لزيادة الضغط الانتفاخي وعموما فأن الزيادة في حجم الجدار الخلوي يكون أقل من الزيادة في حجم الاغشية الخلوية ولكن بزيادة ضغط الجدار أي بزيادة الضغط الانتفاخي فقد يحدث تمزق لهذا الجدار وقد يتحمل الجدار الخلوي لضغط يصل الى (−30) بارا . إن مقاومة الجدار الخلوي للضغط المسلط عليه تعتبر من الخواص الهامة لهذا الجدار .



شكل (2–10) رسم توضيحي لعملية التناضح (Osmosis)

حيث أن :

A يمثل محلول سكري 50% مفصول عن الماء المقطر بغشاء نصف ناضح (**Semipermeable**) و **B** دخول الماء المقطر خلال الغشاء نصف الناضح الى محلول السكر مسبباً ارتفاع المحلول الى اعلى في العمود وتستمر العملية حتى يعادل الضغط الناشيء عن ارتفاع المحلول بالقوة المسببة لدخول الماء ويطلق على هذا الضغط بالضغط الازموزي (**Osmotic pressure**) غير ان هذا الضغط يسمى حديثاً بالجهد الازموزي (**Osmotic potential**) .

عن : (**Bonner and Galston, 1952**) .

وعموما يمكن تلخيص ماسبق ذكره عن عملية التناضح والعوامل والقوى المؤثرة عليها في المعادلة التالية :

$$\psi_w = \psi_p + \psi_s + \psi_m + \psi_t$$

وكما سبق فأن

ψ_w = الجهد المائي والذي قد يرمز له بالرمز ψ او ψ_c

ψ_p = ضغط الانتفاخ والذي قد يرمز له أيضا بالرمز TP

ψ_s = الجهد الأزموزي أو الضغط الازموزي (OP) والذي يرمز له أيضا بالرمز π.

ψ_m = matric potential المتسبب عن قوى الـ (matric forces)

ψ_t = القوة المتسببة عن درجة الحرارة

إن قيمة ψ_w هي دائما سالبة ماعدا الحالات التي تغمس فيها الخلايا في الماء المقطر النقي الحر وهذا بالطبع غير متواجد في الطبيعة.
إن ψ_p تزيد من قيمة الجهد المائي ولذلك فهي موجبة.
اما ψ_m ، ψ_s فهي تقلل من الجهد المائي ولذلك فأن قيمتها سالبة.
بالنسبة لـ ψ_t فهي تزيد من قيمة الجهد المائي الا أن قيمتها تهمل كما في حالة ψ_m لانها لاتلعب دورا مهما حيث تكون درجة الحرارة للخلية النباتية مساوية لدرجة الحرارة للخلية المجاورة أو متساوية مع درجة حرارة محلول التربة الخارجي.
وبعبارة أدق فأن القوتين المؤثرتين في الجهد المائي ψ_w والتي تعتبر محصلتها السبب في حركة جزيئات الماء من والى الخلية النباتية هما فقط ψ_p ، ψ_s.
أي أن $\psi_w = \psi_p + \psi_s$.

10.2 ـ درجة تفاعل وسط النمو (pH)

يعتبر الـ (pH) من العوامل المهمة الذي يلعب دورا مهما في جاهزية وامتصاص المغذيات في التربة وامتصاصها بواسطة جذور النبات. يتراوح الـ pH من 4 أو اقل في الترب الحامضية وقد يصل الى اكثر من 8 في الترب القلوية.

هناك بعض انواع النباتات قد تأقلمت بحيث يمكنها النمو في كل من قيم الـ pH المتطرفة السابقة الذكر. غير أن معظم النباتات تنمو نموا جيدا في درجات الـ pH المحصورة من 5-7 وهي نفس قيم الـ pH لمعظم المحاليل المغذية. ولدرجة تفاعل وسط النمو أهمية كبيرة نذكر منها مايلي:

1) إن قيم الـ pH تؤثر على جهد الاكسدة والاختزال (Redox-Potential) وعلى عامل الاذابة (solubility coefficient) لكثير من المركبات المتواجدة في التربة وتؤثر على الصورة الايونية للعنصر وجاهزيته وإمتصاصه فمثلا نجد أن النبات يمتص $N-NO_3^-$ أفضل تحت الظروف الحامضية وصورة الـ $N-NH_4^+$ تمتص بدرجة أعلى من صورة $N-NO_3^-$ تحت الظروف القاعدية والذي يرجع الى قلة منافسة أيونات الهيدروكسيل لصورة النترات لقلة تركيزها تحت الظروف الحامضية وقلة منافسة (Antagonism) أو (Interaction) أيونات الهيدروجين لصورة الامونيوم تحت الظروف القاعدية.

كما نجد سيادة الصورة الاحادية للفوسفات $H_2PO_4^-$ تحت الظروف الحامضية وبالتالي زيادة امتصاصها في حين يزداد تواجد الصورة الثنائية للفوسفات

HPO_4^- تحت الظروف القاعدية قليلا وعند 7pH يتساوى تواجد الصورتين في التربة وكما هو الحال فإنه عند درجة تفاعل 6.8 يتساوى امتصاص صورتي النترات والامونيوم بواسطة جذور النبات .

وفي محلول التربة الجيدة التهوية وذات الـ 8pH نجد أن الحديد يترسب على شكل هيدروكسيد الحديديك $Fe(OH)_3$ القليل الذوبان وغير الجاهز (nonavailable) للنبات . كما نجد أنه بانخفاض الـ pH أي بزيادة تركيز أيونات الهيدروجين (وبمعنى آخر زيادة الحموضة) تزداد جاهزية وامتصاص كل العناصر الغذائية الصغرى ماعدا عنصر المولبدنم والذي تزداد جاهزيته كلما زادت درجات الـ pH (اي كلما اتجهنا نحو القاعدية) والذي يعود الى احلال أيونات الهيدروكسيل على سطوح المواد الفعالة محل ايونات المولبدات وانفراد المولبدات الى محلول التربة .

2) قد يكون هناك تأثيرات مباشرة لكل من (H^+ , OH^-) على جذور النباتات خاصة أغشية نقل الايونات في خلايا البشرة حيث نجد أنه في درجات الـ 4pH أو اكثر من 9 يحدث تآكل لخلايا هذه الجذور .

3) قد تسبب زيادة تركيز أيونات الهيدروجين في محلول التربة أو في وسط نمو المزارع الرملية والمائية سحب الكاتيونات المتواجدة في طبقة الجذور الخارجية والتي كان النبات مستعدا لادخالها الى داخل الفجوات العصارية وعملية سحب الكاتيونات يطلق عليها (Depletion) . وقد تحدث مثل هذه الظاهرة في ترب المناطق الحامضية حيث يحدث فيها احلال أيونات الهيدروجين محل الكاتيونات المتبادلة على سطوح غرويات التربة (الطين والدبال) ورجوع هذه الكاتيونات الى محلول التربة ونظرا لسقوط الامطار المستمر في تلك المناطق (مثل المناطق الاوربية) فانه يحدث غسل (Leaching) لهذه الكاتيونات والتي أهمها أيونات الـ (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) .

ونتيجة لاحلال أيونات الهيدروجين محل هذه الكاتيونات وفقدها بعملية الغسل فان نباتات هذه المناطق تعاني من نقصها ولكن الأهم من ذلك هو تأثيرها السلبي على خواص التربة الكيمياوية والفيزياوية والحيوية وكذلك السمية لبعض العناصر والتي تزداد جاهزيتها في الترب الحامضية مثل الـ (Al , Mn) . وبالطبع فأن السمية بالالومنيوم والمنغنيز تكون غالبا مؤشرا ودالة لمعاناة النبات لنقص عنصري

الفسفور والحديد على التوالي حيث أن الفسفور يترسب على صورة فوسفات الحديد والالومنيوم في هذه الحالة ($Al\ PO_4 + FePO_4$) أما السمية بالمنغنيز فتسبب نقص عنصر الحديد حيث أن المنغنيز يمنع من تكون الانزيمات الخاصة .

11.2 — مقارنة محاليل التربة ومحاليل المزارع الغذائية

ان تركيز المحاليل المغذية المستخدمة في المزارع الغذائية يعتبر نسبيا أعلى من تركيز محاليل التربة . فقد أوضحت الدراسة التي قام بها (1966, Reisenauer) عندما قام بدراسة عدد كبير من محاليل الترب حيث أوضح التركيب الكيمياوي لمحاليل هذه الترب ان معظم النماذج المختارة لم يتجاوز فيها تركيز كاتيونات وانيونات العناصر الغذائية الكبرى 100 جزء في المليون (100 ppm) وبالنسبة للفوسفات فان معظم العينات كان تركيز الفوسفات فيها أقل من 0.5 جزء في المليون . في حين محتوى المحاليل المغذية من الفسفور قد يصل الى 62 جزء وبالنسبة للبوتاسيوم فقد كان محتوى أكثر من 50% من العينات المفحوصة أقل من 50 جزء في المليون . في حين ان محتوى المحاليل المغذية من عنصر البوتاسيوم يفوق ذلك بكثير وقد يصل الى أكثر من 250 جزء في المليون . وبالنسبة للنتروجين فان اكثر من 50% من النماذج والعينات التي قدر فيها النتروجين بشكل لم تزد عن 200 جزء في المليون ($N-NO_3$) وهذا تقريباً يقارب محتوى المحاليل المغذية من النتروجين والذي يبلغ 224 جزء في المليون ، لاحظ جدول رقم (2-6) .

إن سبب ارتفاع تركيز المحلول المغذي عن تركيز محلول التربة يعود الى صعوبة الحفاظ على التراكيز المنخفضة للعناصر الغذائية في المحاليل بسبب سحبها المستمر من قبل النبات ويظهر أن النباتات لا تحتاج الى مثل هذا التركيز العالي فقد لاحظ (1961, Williams) إن نبات الشعير **Hordeum vulgare** المزروع في مزرعة غذائية قد نما بصورة جيدة دون ان تظهر عليه اية اعراض لنقص عنصر البوتاسيوم عندما حافظ على تركيز البوتاسيوم عند التركيز 0.01 جزء في المليون (0.25 ميكرومول) من البوتاسيوم في المحلول المغذي وقد حصل على تراكيز اعتيادية في أنسجة النبات .

كما أشار (1967, Asher and Ozanne) عندما زرعا عدة أنواع نباتية سائدة في غرب استراليا في محاليل غذائية محتوية على ميكرومول من البوتاسيوم وحافظا على هذا التركيز في المحلول المغذي المستخدم . كما وجد ان تركيز 0.5 جزء في المليون (5.3 ميكرومول PO_4) قد ادى للحصول على نمو جيد لنبات الذرة

الصفراء (**Zea mays**) وكذلك لنبات الذرة البيضاء (**Sorghum vulgare**) وكذلك لنبات الطماطة (**Lycopersicum esculentum**) في دراسات قام بها (1930, Tidmöre) كما حصل (1967, Asher and Loneragan) على نمو جيد لعدة أنواع نباتية عندما كان تركيز الفوسفات في المحاليل المغذية يقدر بحوالي (5 ميكرومول).

يتضح من الدراسات السابقة من نتائج تحليل التربة ان النباتات يمكنها ان تنمو جيدا عندما يكون تركيز محاليل التربة من العناصر الغذائية الضرورية منخفضة جدا مقارنة بتراكيزها في محاليل المزارع الغذائية.

ويذكر ان النباتات تحتاج الى الامداد بكميات مناسبة من العناصر خصوصا اذا ما نمت النباتات لمرحلة النضج وليس الى تركيز عالي للمحلول الخارجي وهذا هو السبب الذي يدعونا الى استخدام تراكيز عالية نسبيا من العناصر الغذائية في المحاليل المغذية مقارنة بمحاليل التربة والتي تزود باستمرار من الطور الصلب للتربة في حالة اختلال التوازن نتيجة لامتصاص النباتات للعناصر الغذائة.

اما التركيز المنخفض الذي ادى الى نمو جيد والذي تناوله وذكره الباحثون السابقون فهذا يعود الىَ امكانية المحافظة على «التركيز نتيجة لنمو عدد محدود من النباتات في محلول غذائي ذو حجم كبير نتيجة لتغيير هذا المحلول وتجديده باستمرار نتيجة لدورانه المستمر باستخدام تقنية متطورة ومضخات والتي تعيد المحلول المغذي المار حول الجذور والخارج من أسفل وتجمعه في خزان تم اعادة ضخه الى النباتات ثانية.

2.12 التأثيرات الفسيولوجية للجهد المائي ـ

يعتبر الجهد المائي أحد العوامل المهمة والرئيسية التي تلعب دورا كبيرا في انتاجية ونوعية المحاصيل الزراعية. ولهذا فالعلاقات الفسيولوجية المتعلقة بالجهد المائي تحتاج الى دراسة مفصلة. ان فقد أنسجة النبات للماء قد يسبب تأثيرات كبيرة تؤدي الى نقص الضغط الانتفاخي (Ψp) داخل الخلايا النباتية والتي قد ينتج عنها زيادة في تركيز الجزيئات الكبيرة والمواد ذات الوزن الجزيئي الواطيء. كما قد يحصل انخفاض في الجهد المائي (Ψw) وبمعنى اخر قلة نشاط جزيئات الماء الموجود فعلا بداخل الخلايا النباتية ولاشك ان مثل هذه التغيرات يكون لها تأثير مباشر على التفاعلات الحيوية الضرورية للنبات. فقد أوضح (**Hsiaoetal;1976**) ان فقد الماء بمعدل 10 — 15% قد ادى الى تناقص الجهد المائي بمقدار 6 بار وقد انعكس على عدد من العمليات الحيوية الضرورية للنبات ذكر منها مايلي :

الصفراء (**Zea mays**) وكذلك لنبات الذرة البيضاء (**Sorghum vulgare**) وكذلك لنبات الطماطة (**Lycopersicum esculentum**) في دراسات قام بها (1930, Tidmore) كما حصل (1967, Asher and Loneragan) على نمو جيد لعدة أنواع نباتية عندما كان تركيز الفوسفات في المحاليل المغذية يقدر بحوالي (5 ميكرومول).

يتضح من الدراسات السابقة من نتائج تحليل التربة ان النباتات يمكنها ان تنمو جيدا عندما يكون تركيز محاليل التربة من العناصر الغذائية الضرورية منخفضة جدا مقارنة بتراكيزها في محاليل المزارع الغذائية.

ويذكر ان النباتات تحتاج الى الامداد بكميات مناسبة من العناصر خصوصا اذا ما نمت النباتات لمرحلة النضج وليس الى تركيز عالي للمحلول الخارجي وهذا هو السبب الذي يدعونا الى استخدام تراكيز عالية نسبيا من العناصر الغذائية في المحاليل المغذية مقارنة بمحاليل التربة والتي تزود باستمرار من الطور الصلب للتربة في حالة اختلال التوازن نتيجة لامتصاص النباتات للعناصر الغذائة.

اما التركيز المنخفض الذي ادى الى نمو جيد والذي تناوله وذكره الباحثون السابقون فهذا يعود الى امكانية المحافظة على «التركيز نتيجة لنمو عدد محدود من النباتات في محلول غذائي ذو حجم كبير نتيجة لتغيير هذا المحلول وتجديده باستمرار نتيجة لدورانه المستمر باستخدام تقنية متطورة ومضخات والتي تعيد المحلول المغذي المار حول الجذور والخارج من أسفل وتجمعه في خزان تم اعادة ضخه الى النباتات ثانية.

2.12 التأثيرات الفسيولوجية للجهد المائي ـ

يعتبر الجهد المائي أحد العوامل المهمة والرئيسية التي تلعب دورا كبيرا في انتاجية ونوعية المحاصيل الزراعية. ولهذا فالعلاقات الفسيولوجية المتعلقة بالجهد المائي تحتاج الى دراسة مفصلة. ان فقد أنسجة النبات للماء قد يسبب تأثيرات كبيرة تؤدي الى نقص الضغط الانتفاخي (ψp) داخل الخلايا النباتية والتي قد ينتج عنها زيادة في تركيز الجزيئات الكبيرة والمواد ذات الوزن الجزيئي الواطيء. كما قد يحصل انخفاض في الجهد المائي (ψw) وبمعنى اخر قلة نشاط جزيئات الماء الموجود فعلا بداخل الخلايا النباتية ولاشك ان مثل هذه التغيرات يكون لها تأثير مباشر على التفاعلات الحيوية الضرورية للنبات. فقد أوضح (**1976 Hsiaoetal;**) ان فقد الماء بمعدل 10 — 15% قد ادى الى تناقص الجهد المائي بمقدار 6 بار وقد انعكس على عدد من العمليات الحيوية الضرورية للنبات ذكر منها مايلي :

1) تمدد الخلية وانقسامها :

يعتبر نمو الخلية من أكثر العمليات الحيوية حساسية للتغير في الجهد المائي وقد تبين ان التأثير الاساسي في هذه العملية هي عملية فيزياوية محضة ترجع الى عملية التناضح Osmosis حيث أن انخفاض الضغط الانتفاخي (ψp) للخلية النباتية بسبب تناقص تمدد الخلية يعمل على تناقص الجهد المائي داخل الخلية ومن هنا يتبين ان هناك علاقة وطيدة بين التناقص في حجم الخلية والجهد المائي في هذه الخلايا .

كما يلاحظ ... الليل ونتيجة لانخفاض عملية النتح يتجمع الماء في الخلايا مسببا حدوث انتفاخ عال في أنسجة النبات والذي بدوره يحفز معدل النمو مقارنة بمعدل النمو في النهار (Boyer ,1968) . وبما ان ماء التربة يؤثر في الجهد الازموزي لمحلول التربة (ψs) والذي ينعكس سلبا أو ايجابا على الجهد المائي (ψw) للورقة فان نمو وتوسع الورقة يعتمد على جاهزية الماء في التربة (Marc and palmer 1976) . هذا وقد وضح (Acevedo et al., 1971) بان استطالة أوراق نبات الذرة الصفراء (Zea mays) الحديثة العمر قد انخفضت عندما تناقصت جاهزية الماء للوسط الجذري من —0.1 الى —0.2 بار ، ونتيجة لذلك فقد تغير الجهد المائي للورقة من —2.8 الى —7 بار على التوالي . وبالاضافة الى تمدد ونمو الخلية فان انقسام الخلية يمكن ان يتأثر ايضا بالجهد المائي ولقد اقترح (Hsiao, 1973) بانه اذا كانت فترة الانخفاض في الجهد المائي طويلة فان انقسام الخلية قد يتوقف تماما .

2) لوحظ ان تكون الجدار الخلوي والبروتين في الانسجة السريعة النمو هما اكثر تأثرا بالتغير في الجهد المائي بعد نمو الخلية وهذا طبيعي حيث ان نمو جدار الخلية يرتبط ارتباطا وثيقا بالفعاليات الحيوية لجدار الخلية ولقد لوحظ قلة بناء الجدار الخلوي نتيجة الانخفاض في الجهد المائي (Cleland, 1967) . كما اشار كل من (Mizrahi et al., 1970) و (Dhindsa and Cleland, 1975) بان تكون البروتينات من الاحماض الأمينية قد تعرقل واشاروا ان هناك نقصاً واضحاً في تكوين الحامض الأميني Leucine وكذلك في نوعية البروتين المتكون . بيد أن الصورة غير واضحة حول كيفية تأثير الجهد المائي في تكوين البروتينات ولكنه اصبح من الواضح انه لا يعود الى نشاط الهرمونات النباتية .

3) الانزيمات .

ان نقص الماء الشديد يؤثر تأثيرا مباشرا على مستويات الانزيمات في النباتات . فقد لوحظ انه تحت تأثير الجهد المائي المتوسط فان بعض الانزيمات ارتفع مستواها مثل الانزيمات التي تشارك في عملية التحلل المائي (hydrolysis) وعملية فصل الهيدروجين (dehydrogenation) . غير انه وجد بصورة عامة انخفاض مستوى الانزيمات بانخفاض الجهد المائي وخاصة محتوى النباتات من انزيم الـ (nitrate reductase) الذي له علاقة مباشرة في عملية اختزال النترات وتحولها الى امونيا والتي ترتبط بعد ذلك مع الاحماض العضوية الكيتونية لتكوين الاحماض الامينية والتي تعتبر الاساس لتكوين البروتينات . ولقد اقترح (Bardzik et al., 1971) بان هذا يعود الى منع أو ايقاف (Suppression) تكون البروتين . غير انه حصل اعتراض حول الرأي المقترح السابق وقد استبعد ان يكون للجهد المائي تأثيرا مباشرا على تكوين بنية هذا الانزيم وان هذا يمكن ان يحدث في حالة فقدان الماء في حالة الجفاف لكي يبدأ تأثير الجهد المائي في تكوين بنية هذا الانزيم. هذا من ناحية ومن ناحية اخرى فانه ثبت ان الانزيمات ذات نصف العمر القصير مثل انزيم الـ (Nitrate reductase) تؤثر على تكوين البروتين وليس العكس اي ان تكوين البروتين يعتمد على مثل وجود هذه الانزيمات .

4) الهرمونات النباتية .

هناك علاقة معقدة بين الجهد المائي والهرمونات النباتية ومع ذلك فهناك بعض النقاط الأساسية التي اصبحت واضحة فقد وجد انه تحت الظروف المتوسطة للجهد المائي فهناك تجمع سريع لحامض الـ ABA (abscisic acid) في النبات . ان تجمع (ABA) يسبب غلق الثغور في الورقة ومنع عملية النتح (Beardsell and Cohen 1975,). وبما ان هرم النبات (Senescence) يزداد بواسطة (ABA) فان فكرة تقليل عمر النبات تحت ظروف الجهد المائي الواطيء قد تعود الى تكوين الـ (ABA) في النبات .

ومن المعروف ان الإيثلين يؤدي الى فصل جزء من النباتات عن النبات الكلي (absicission) وهذه مشكلة معروفة في حالة نبات القطن حيث يحدث عن طريق تكون الإيثلين عند نقص في الماء فقدان الازهار المكتملة النمو والثار الحديثة التكوين . ولقد اقترح (McMicheal et al., 1972) بان هذا يعود الى تعرض هذه الاجزاء الى نشاط وفعالية الإيثلين وان تكون الإيثلين يحدث في اعناق الاوراق (petioles) بعد ساعات قليلة من نقص الماء (Water deficit) .

ومما يؤيد ذلك لوحظ في حالات معينة تناقص تكون الإيثلين عند ري النباتات .

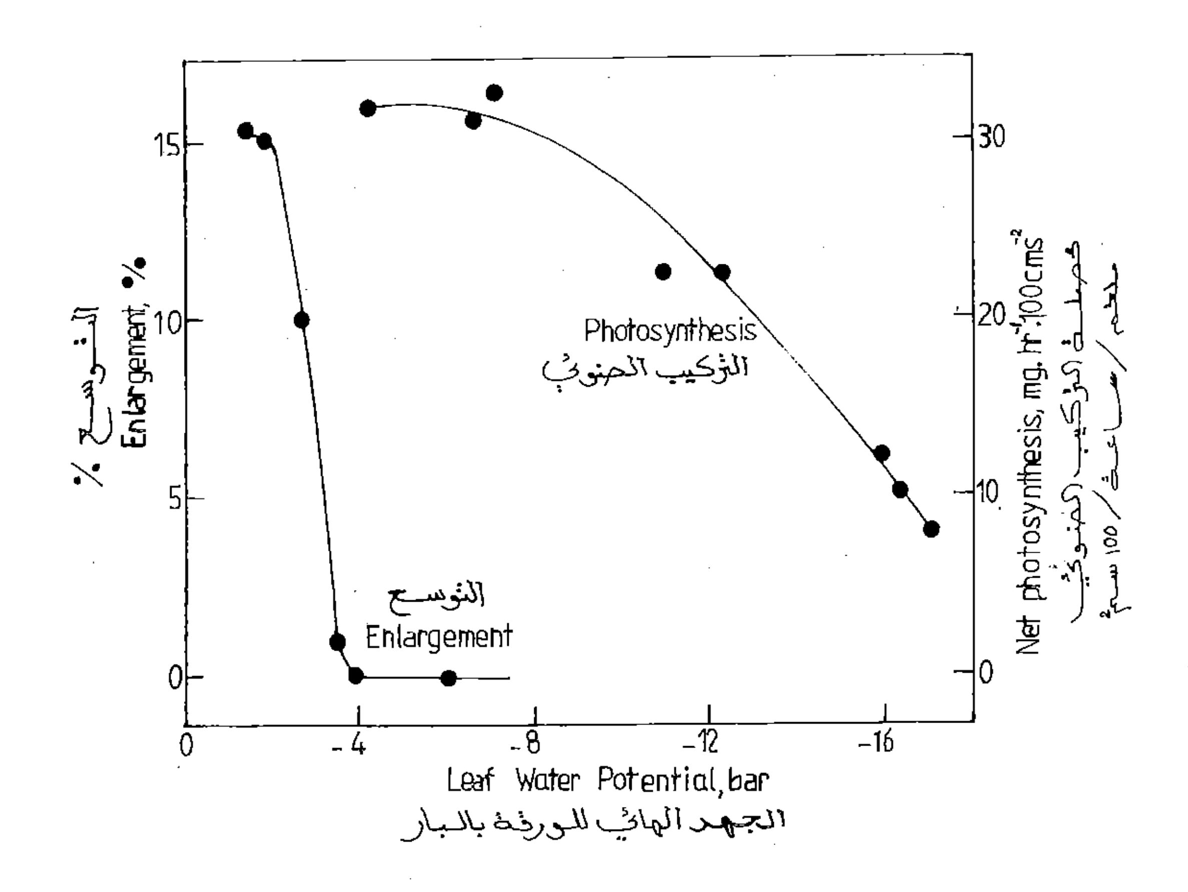
5) نشاط عملية التركيب الضوئي .

مما سبق تبين ان للجهد المائي تأثير على عملية فتح الثغور حيث يقللها أو يمنعها نتيجة لتكوين حامض الـ (ABA) ومنع حدوث عملية التركيب الضوئي . غير ان (Hsiao, 1973) قد أشار ان هناك تأثيراً بسيطاً في غلق الثغور عندما يكون الانخفاض في الجهد المائي متوسطاً ، حيث وجد ان نبات فول الصويا لم يظهر أي نقص في عملية تبادل الغازات وأن غلق الثغور قد حصل لنبات فول الصويا عندما انخفض الجهد المائي الى درجة أقل من (—10) بار ، بينما في نباتي عباد الشمس والذرة الصفراء (**Sunflower,** corn) حصل انغلاق للثغور عندما كان الجهد المائي (—7) بار (Boyer, 1970) . ان هذه القيم تسمى بالقيم الحدية أو الحرجة (critical) والتي توضح بأن هناك احتياجاً الى جهد مائي منخفض جداً لمنع تبادل الغازات وانتشار غاز CO_2 من الجو خلال الثغور الى النسيج المتوسط (Mesophyll) للاوراق .

ان النتائج التي توصل اليها (Boyer, 1970) في دراسته لنبات عباد الشمس قد بينت بشكل واضح ان التغير في تمدد وتوسع الورقة (enlargement) هو أكثر حساسية للتغير في الجهد المائي للورقة من عملية التركيب الضوئي كما في الشكل (2-11) الذي يوضح بان توسع الورقة كان أكثر حساسية حيث حصل تناقص سريع في توسيع الورقة عندما تناقص الجهد المائي الى مابعد (—3) بار . بينما محصلة التركيب الضوئي لم تتناقص بسرعة الا بعد انخفاض الجهد المائي الى أكثر من (—8) بار .

ويحتمل أن نقص الجهد المائي الشديد يسبب قلة امتصاص CO_2 ويقل كذلك معدل عملية الفسفرة الضوئية [أي تكون الـ ATP (Adenosine triphosphate) بعملية الفسفرة الضوئية (Photophos phorylation) .

هذا ووجد (Breverdan and Hodges, 1973) بأن نبات الذرة الصفراء النامي تحت ظروف الحقل وكان الجهد المائي مابين (—17 الى —22) بارقد حصل فيه توقف في معدل تمثيل CO_2 كما لوحظ أيضاً تناقص في معدل انتقال المواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي من الاوراق أي من أماكن تكوينها الى أجزاء النبات الاخرى . ولقد أشار الباحثان أن انتقال المواد الناتجة من عملية التمثيل الضوئي هو أكثر حساسية للجهد المائي من حساسية عملية التمثيل الضوئي نفسها كما أشار (Bell et al., 1971)، كما يحتمل أن الجهد المائي المنخفض ربما يقلل من عملية التنفس .



شكل (11-2) تأثير الجهد المائي في ورقة عباد الشمس على التوسع ومحصلة عملية التركيب الضوئي عن: (Boyer, 1970)

6) تجمع البرولين

لقد وجد (Singh et al., 1973) ان النباتات المقاومة للأنخفاض في الجهد المائي قد احتوت على كميات أعلى من الحامض الأميني البرولين (Proline) مقارنة بالنباتات الحساسة. فقد لاحظ من دراسته لنباتات الشعير التي نمت أولاً في محلول غذائي ثم نقلت الى محلول آخر ذو جهد أوزموزي يقدر بـ (—20) بار لمدة 72 ساعة جدول (2-8) ان الاصناف المقاومة كان محتواها أعلى من البرولين مقارنة بالاصناف التي أظهرت حساسية للأنخفاض في الجهد المائي. والشيء المشجع من هذه النتائج ان الأصناف المقاومة لم تظهر أي فروق معنوية بالجهد المائي للورقة أو نشاط أنزيم الـ (dehydrogenase) أو محتوى الورقة من الكلوروفيل ولقد أشار

الباحثون السابقون أن النبات حصل فيه تجميع البرولين لتقليل الجهد المائي الداخلي للورقة ليحافظ على امتصاص الماء من الخارج بالرغم من زيادة الجهد الازموزي لوسط النمو . هذا التنظيم في الجهد المائي ربما هو عملية التأقلم التي بواسطتها يستطيع النبات تحمل ظروف الجهد الأزموزي القاسي .

جدول **(2-8)** توضيح النسبة المئوية لمقاومة الورقة ومحتوى الأوراق من البرولين لخمسة أصناف من نبات الشعير النامية تحت جهد أزموزي **(—20)** بار لمدة **72** ساعة **(Singh et al., 1973)** .

الصنف	البرولين ملغم / غم وزن جاف	مقاومة الورقة ٪
Prior	18.5	54
Ketch	15.6	41
Cl 3576	13.5	36
Cl 5611	11.3	27
Ashai- 2	7.5	16

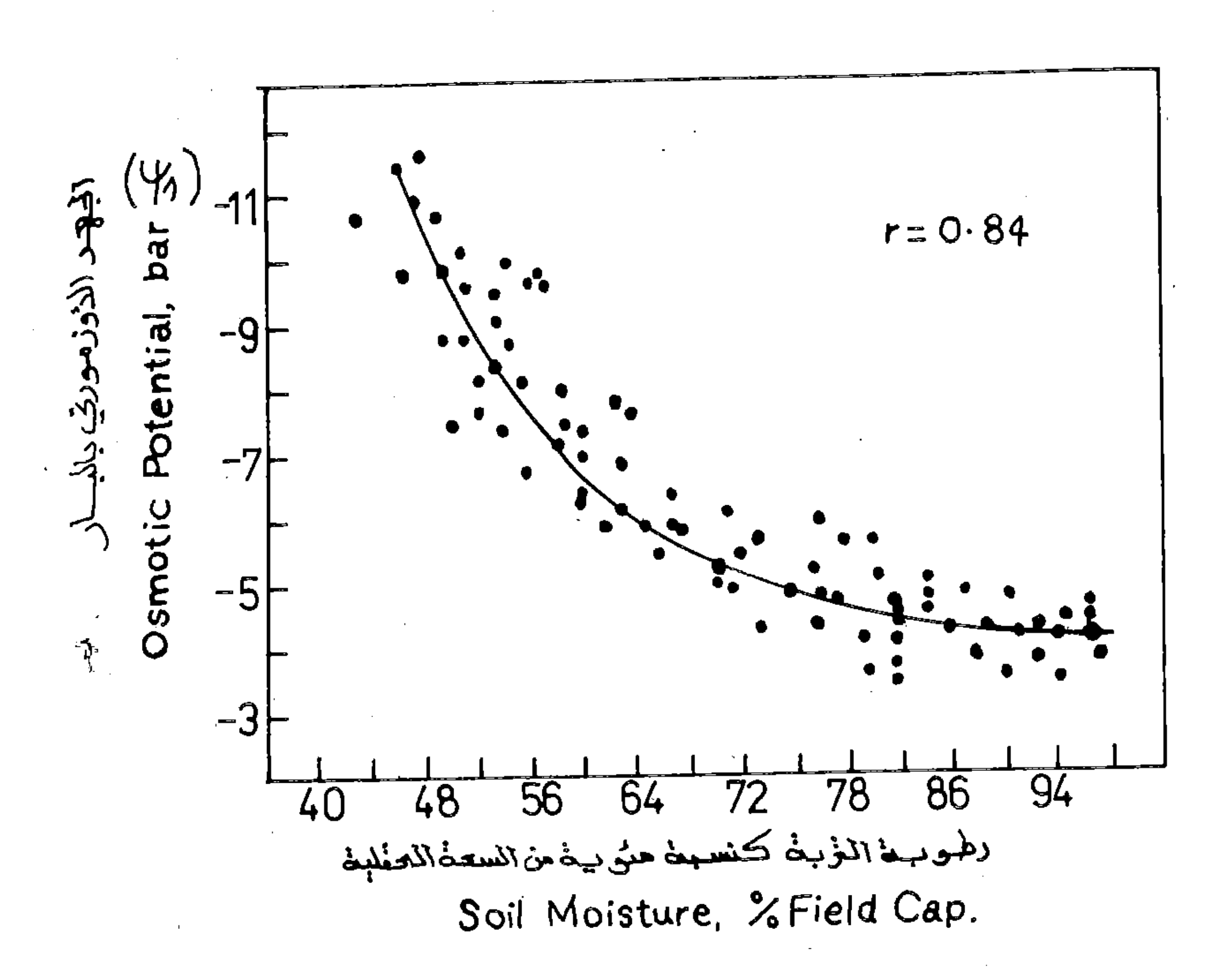
2. 13 ـ الأوجه التطبيقية للجهد المائي

1.13.2 ـ الجهد المائي والري

عندما تقل جاهزية الماء في الترب ويكون النتح عالياً فتكون النتيجة قلة الماء المتواجد في الخلايا وهذا يعني انخفاض قيمة الجهد المائي (ψw) وتصبح النتيجة الموازنة السالبة (أي فقدان الماء من قبل النبات أعلى من امتصاصه وتصبح قيمة الجهد المائي سالبة أعلى مما كان عليه سابقاً) . وعندما يكون فقد الماء مفرطاً فأن النبات يذبل ويوقف الانخفاض الشديد في الجهد المائي في هذه الحالة نمو النبات . أن النتائج التي توصل اليها (**Padurariu et al.** 1969) توضح العلاقة بين المحتوى الرطوبي للتربة والجهد المائي للورقة (ψw) (شكل 2-12) حيث لوحظ أنه عند زيادة محتوى التربة المائي يقل تركيز المواد الذائبة في التربة وهذا يعني قلة الجهد الازموزي لمحلول التربة (ψs) وتكون المحصلة هي زيادة الجهد المائي للخلية (ψw) (حيث تكون القيمة السالبة اقل) . وبما أن الجهد المائي يعتمد على معدل

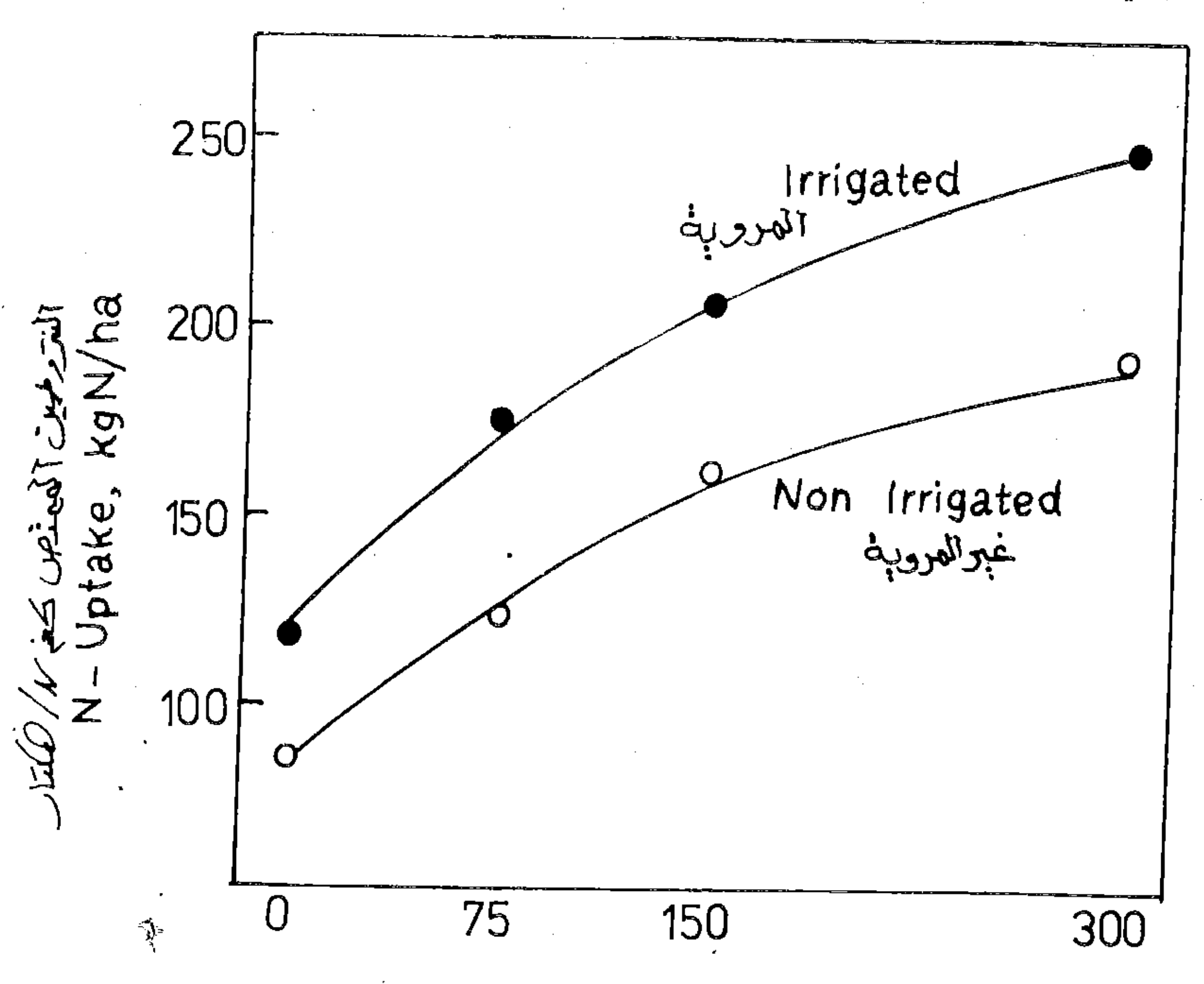
النتح فأنه يكون مختلفاً خلال اليوم الواحد . حيث أنه يكون أوطأ في منتصف النهار عندما يكون النتح عالياً والجهد المائي لعدد من النباتات يكون بمعدل (−1 الى −12) بارا .

ان الطريق السهل والمتعارف عليه لموازنة فقد الماء وتجنب أنخفاض الجهد المائي هو الري . وقد اشار الباحثون أنفسهم بأنه يجب تجنب أنخفاض الجهد المائي لورقة نبات الذرة الصفراء خلال فترة النمو الرئيسية عن(−7) بار وبالنسبة للبنجر الذي هو أكثر حساسية للجهد المائي عن (−5) بار .



شكل (2−12) تأثير مستوى رطوبة التربة على الجهد المائي لاوراق الذرة الصفراء (**Padurariu et aL, 1969**)

ان تأثير الري الايجابي في الحاصل قد درسه (Decald and Pujol, 1973) كما في الشكل (2-9) الذي يوضح زيادة امتصاص النتروجين من قبل نبات الذرة الصفراء بزيادة اضافة السماد النتروجيني نتيجة لعملية الري . ان الامتصاص العالي للنتروجين في المعاملة المروية كانت موازية للزيادة في حاصل الحبوب .



شكل (2-13) يبين تأثير الري وزيادة مستويات النتروجين المضافة في الامتصاص الكلي من النتروجين لنبات الذرة الصفراء . (Decau and Pujol, 1933)

هذا وتختلف الاحتياجات المائية للنبات باختلاف مراحل نموه . فنبات الذرة الصفراء مثلاً يكون حساساً بصورة خاصة للجهد المائي في طور التزهير (Tasseling) وري الذرة الصفراء في مرحلة التزهير يلعب دوراً مهماً في زيادة الحاصل تحت الظروف التي يكون فيها المستوى الرطوبي للتربة منخفضاً كما يتضح

من الجدول (2-9) والذي يوضح ان زيادة مستوى النتروجين المضاف كان له تأثير مباشر في زيادة الحاصل ويكون التأثير اعلى في حالة مصاحبة الاضافة بالري.

جدول 2-9 : توضيح التداخل بين النتروجين المضاف والري على حاصل الحبوب للذرة الصفراء

(Buchner and Strum, 1971)

معدل النتروجين المضاف	حاصل الحبوب طن / هكتار			
	1969		1970	
كغم / هكتار	بدون ري	مع الري	بدون ري	مع الري
60	5.1	8.8	3.4	6.1
120	3.8	9.7	3.7	8.7
180	3.3	9.6	2.3	10.0

2.13.2 ـ المواد المثبطة للنتح

أغلب المحاصيل الزراعية احتياجاتها عالية للماء. وإن الماء الذي يفقد بعملية النتح يفوق كمية الماء التي يحتاجها النبات في عمليات النقل وغيرها من العمليات الفسيولوجية. وبما أن امتصاص CO_2 في عملية التركيب الضوئي يحتاج الى ثغور مفتوحة فأن هذا يعني أن فقد الماء بعملية النتح قد يسبب غلق الثغور جزئياً ومؤدياً الى قلة التركيب الضوئي. وتحت الظروف المناخية الرطبة فأن ذلك لا يسبب أية مشكلة لأن النقص في ماء التربة قد لا يحدث خصوصاً عندما يكون محتوى التربة من الماء عالياً. أما في المناطق الجافة وشبه الجافة فيكون للجهد المائي كما سبق دور كبير في تحديد انتاجية المحاصيل الزراعية. لذلك فقد بذلت جهود مكثفة لتقليل عملية النتح نتيجة لغلق الثغور جزئياً وليس غلقها بالكامل لأن ذلك بالطبع عملية غير مرغوب فيها لأتاحة الفرصة لتبادل الغازات وحدوث التركيب الضوئي لأجل تحقيق هذا الغرض فقد أستعملت مواد كيمياوية تسمى مضادات النتح (antitranspirants). إن هذه المواد استعملت لتقليل الاستهلاك المائي دون أن يكون لذلك تأثير على عملية التركيب الضوئي(Gale and Hagan 1966). لقد وجد (Waggoner and Zelitch 1965) بأن المركب (monoethyl ester of decenyl succinic acid) بصورة خاصة له تأثير فعال في غلق الثغور. والعلاقة بين هذا المركب وعرض فتحة الثغور مبينة في الجدول (2-10).

جدول (2-10) توضيح العلاقة بين تركيز المركب المثبط للنتح وغلق الثغور (Fulton, 1967) .

التركيز بالمول	اتساع فتحة الثغور بالميكرومتر
Zero	8.9
10^{-5}	8.2
10^{-4}	4.4
10^{-3}	3.9
10^{-2}	2.9

3.13.2 ـ معامل النتح Transpiration coefficient

يستعمل معامل النتح في الاغراض التطبيقية حيث يوضح كفاءة النباتات في استغلال الماء الممتص في انتاجية هذه النباتات . ويمكن تعريف معامل النتح بأنه كمية الماء مقاسة باللترات التي تستهلك لانتاج كغم واحد من المادة الجافة . ويختلف معامل النتح باختلاف المحاصيل ويكون معامل النتح اعلى في النباتات ذات ميتابولزم C_3 Metabolism مما هو عليه في النباتات ذات ميتابولزم C_4 Metabolism كما يتضح ذلك من الجدول (2-11) ويلاحظ منه ان نبات الجت يستهلك كمية اكبر من الماء مقارنة بنبات الذرة الصفراء او الذرة البيضاء .

إن معامل النتح كمية غير مطلقة فهو عرضة للتغير حيث ان ظروف التربة والعوامل المناخية وكذلك تغذية النبات لها دور في ذلك فمثلاً عندما يكون التجهيز بالماء من التربة كافياً وزيادة عملية النتح نتيجة لانخفاض الرطوبة النسبية للهواء الجوي المحيط وارتفاع درجات الحرارة والضوء فإن معامل النتح يكون عالياً . كما وجد ان النباتات عندما تكون غير مجهزة جيداً بالعناصر الغذائية فإن معامل النتح يكون ايضاً مرتفعاً وهذا يعني ان قدرة النبات تصبح اقل كفاءة في استهلاك الماء في حالة التغذية غير الجيدة . فقد وجد (Mitscherlich and Beutels pacher 1938) في تجربة حقلية على البطاطا ان البوتاسيوم له تأثير ايجابي على استهلاك الماء والذي يرجع الى تقليل الجهد الازموزي (Ψs) لخلايا النبات وبذلك يقلل من فقدان الماء بعملية النتح حيث يقلل من فتح الثغور جدول (2-12).

جدول (2-11) يبين معامل النتح لحاصيل مختلفة
عن : (Shantz, quoted by Romer and Scheffer, 1959)

الذرة البيضاء	277
الذرة الصفراء	349
البنجر السكري	443
المنطقة الربيعية	491
الشعير	527
البطاطا	575
الشوفان	583
الشيلم	634
البرسيم الابيض	698
الكتان	783
الجت	844

جدول (2-12) يبين الحاصل ومعامل النتح للبطاطا وعلاقة ذلك بالتسميد
عن : (Mitscherlich and Bentels pacher, 1938)

التسميد	الحاصل/ كغم مادة جافة/ م^2	معامل النتح
بدون تسميد	450	693
سماد معدني	928	357
سماد الاصطبل العضوي	741	428
سماد معدني+ سماد الاصطبل العضوي	1049	320



الأسس التطبيقية في استخدامات الاسمدة

1.3 ـ دورات العناصر الغذائية في الطبيعة

Nutriental Elements cycles in Nature

1.1.3 فكرة عامة : ـ

المعروف ان جميع الكائنات الحية من نباتات او حيوانات راقية او واطئة تتكون من عدد من الاجهزة والتي تتناسق وتتعاون معاً من اجل هدف واحد الا وهو الحياة وكيفية المحافظة على ديمومتها واستمرارها . إن كل جهاز من هذه الاجهزة مكون من عدد من الاعضاء والتي كل منها يختص باداء وانجاز عمل ما وهذه الاعضاء تتكون من انسجة والتي كل منها يتألف من الملايين من الخلايا .

غير أن الخلايا تتكون من العديد من المركبات العضوية وغير العضوية والتي تتكون أساساً من العناصر الغذائية الضرورية سواء كانت فلزية او لافلزية والتي تدخل مباشرة او غير مباشرة في حياة هذه الكائنات . فالخلايا هي المسؤولة عن القيام بمختلف التفاعلات الحيوية الضرورية واللازمة لنمو وتطور واستمرار هذه الاحياء . وهناك علاقة وثيقة بين نمو النباتات وتغذيته والحركة الدورانية المستمرة للعناصر الغذائية ومركباتها في الطبيعة ، وبعبارة اخرى فإن هناك ارتباطاً وثيقاً بين نمو النباتات وتطورها وديمومتها وبين المحيط الحي للكائنات الحية الاخرى جميعها والمسمى بالمحيط الحيوي (Biosphere) والمحيط غير الحي الذي تعيش فيه تلك الكائنات غير الحية ويطلق على هذين العالمين المحيطين (المحيط الحيوي والمحيط غير الحي) بعالم البيئة (Ecosphere) .

ان المحيط غير الحي يتكون من الصخور والمعادن والمكونة للقشرة الارضية المسماة الليتوسفير (Lithosphere) وكذلك من الغلاف الجوي (Atmosphere) والمكون من النتروجين والاوكسجين وغازات اخرى بالاضافة الى المحيط المائي (Hydrosphere) والذي يغطي حوالي 70% من سطح الكرة الارضية المتمثل في المحيطات والبحار والبحيرات والانهار والمستنقعات والاهوار والجليد والمياه الموجودة في الصخور والتربة علاوة على بخار الماء الموجود في الغلاف الجوي والذي يتكاثف فيما بعد وينزل ثانية الى سطح الكرة الارضية على شكل امطار او ثلوج او حالوب وهذا يعني ان للماء ايضاً دورة في الطبيعة والتي يطلق عليها الدورة المائية (Hydrologic cycle) .

ان التركيب الكيمياوي لكل محيط من المحيطات السابقة غير ثابت ويتغير من مكان الى اخر الا ان الغلاف الجوي (Atmosphere) ولو انه يتغير بالزيادة مع الارتفاع الا انه يظل ثابتاً تقرباً في الطبقة التي سمكها (ارتفاعها) 20 كم فوق سطح التربة وهذه الطبقة تسمى بالتروبوسفير (Troposphere) والجدول (3-1) يبين معدل تركيب طبقة (Troposphere) .

جدول (3-1) توضيح معدل تركيب طبقة (Troposphere) عن : (Mason, 1950) . هناك تغير حيث الزيادة مع الارتفاع . (20_{10})

ت	الغاز		التركيب بالحجم جزء بالمليون PPM	التركيب بالوزن جزء بالمليون PPM	الكتلة الكلية بالجيوغرام (20_{10})
1	النتروجين	N_2	780900	755100	38.648
2	الاوكسجين	O_2	209500	231500	11.841
3	الاركون	A	9300	12800	0.655
4	ثاني اوكسيد الكربون	CO_2	300	460	0.0233
5	النيون	Ne	18	12.50	0.000636
6	الهيليوم	He	5.2	0.72	0.000043
7	الميثان	CH_4	1.5	0.90	0.000146
8	الكربتون	Kr	1.0	2.90	0.000040
9	اوكسيد النتروز	K_20	0.50	0.80	0.000002
10	الهيدروجين	H_2.	0.50	0.03	0.000031
11	الاوزون	O_3	0.40	0.60	
12	الزينون	Xe	0.08	0.36	0.000018

والجدول (3-2) يبين العناصر الكيمياوية السائدة في طبقة (Lithosphere) لعمق عشرة اميال للقشرة الارضية في حين ان الجدول (3-3) يوضح تركيز الايونات في ماء البحر مقارنة بتركيزها في ماء الانهار والبحيرات بالمليمول (mM) .

جدول (3-2) توضيح للعناصر الكيمياوية السائدة في طبقة الـ **(Lithosphere)** لعمق **10** اميال للقشرة الارضية عن : **(Mason, 1958)**

التسلسل	العنصر		النسبة المئوية بالوزن
1	الاوكسجين	O_2	46.60
2	السليكون	Si	27.72
3	الالومنيوم	AL	8.13
4	الحديد	Fe	5.00
5	الكالسيوم	Ca	3.63
6	الصوديوم	Na	2.83
7	البوتاسيوم	K	2.59
8	المغنيسيوم	Mg	2.09

جدول **(3-3)** يبين تركيز الايونات في مياه البحر مقارنة بتركيزها في مياه الانهار والبحيرات بالمليمول **(mM)**

الايون	ماء البحر	ماء الانهار والبحيرات
Na^+	457	0.39
K^+	9.7	0.36
Ca^{2+}	10	0.52
Mg^{2+}	56	0.21
CL^-	536	0.23
SO_4^{2-}	28	0.21
HCO_3^-	2.3	1.1

ويذكر أن نتائج مياه البحر المأخوذة عن (Golberg, 1963) قد حسبت على أساس الكتلة الكلية للعنصر وبالنسبة للكاربون للكاربونات . اما نتائج مياه الانهـــار والبحـــيرات فهي المعـــدل لشمال امريكـــا (Goldman and Wetzel, 1966).

بيد أن هناك تداخلا بين نمو النبات وتطوره وخصوبة التربة ومن هذه العلاقة تلعب جذور النبات دوراً مهما من حيث وظيفتها في أمتصاص وأنتقال ايونات العناصر الغذائية الضرورية لحياته . أن العناصر الغذائية تصبح جاهزة في محلول التربة نتيجة لعمليات التجوية المعدنية للصخور والمعادن وكذلك لعملية المعدنة للمادة العضوية . ان كلا من هاتين العمليتين بالاضافة الى جاهزية العناصر الغذائية المعدنية قد تحفز نتيجة ما يفرز من قبل الجذور من مواد عضوية أو مايفرز من ايونات الهيدروجين والتي بامكانها مهاجمة صور العناصر غير الجاهزة وأذابتها وتحويلها الى صور صالحة للامتصاص بواسطة جذور النبات . كما أن جذور النبات لها دور مهم من حيث تغلغلها وتفرعها للحصول على العناصر الغذائية مثل الفسفور والبوتاسيوم وغيرها البطيئة الحركة في التربة . ولذلك ليس من المستغرب بأن من الصفات الهامة للترب الخصبة هو أتاحتها لتكوين نظام جذري سليم وكثيف ومتغلغل ومتشعب في طبقات التربة السطحية لزيادة سطوح الامتصاص للجذر .

وبعد نهاية النمو وعند تحلل البقايا النباتية بفعل أحياء التربة فأن العملية تعكس وتتحرر هذه العناصر ثانية الى التربة .

ومما تجدر الاشارة اليه أنه ليس بالضرورة أن كل العناصر الغذائية التي استهلكت من قبل النبات يجب ان تتحرر وتنفرد الى التربة في نفس السنة . ففي أشجار الغابات مثلا فان ما يقرب من 10–20% من الكمية الممتصة من العناصر الغذائية تحفظ في لحاء الاشجار في فترة الشتاء لكي تستعمل في الربيع . كما يجب ان يلاحظ ان بعض العناصر قد تفقد من النباتات النامية بواسطة الغسل الناتج من المطر والتي تعود بذورها الى التربة . والعناصر التي تكون عرضة للفقد بماء المطر بسهولة هي البوتاسيوم والصوديوم والكلوريد والنترات والفسفور وخاصة من الاوراق الهرمة (Senescent leaves) .

أن تحول العناصر الغذائية في دور النبات والتربة يسيطر عليها عوامل عديدة ومن أهم تلك العوامل هي شدة التجوية لمكونات التربة وطبيعة مادة الاصل ومعدل غسل العناصر الغذائية من طبقة التربة السطحية . وعندما يكون معدل

الغسل عالياً وشدة التجوية منخفضة فان العناصر تغسل بمعدل أسرع من معدل امتصاصها وهنا تكون الموازنة الغذائية سالبة وتصبح التربة حامضية أكثر نتيجة لغسل الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والنترات والبيكاربونات. ومثل هذه الترب تكون فقيرة بمحتواها من العناصر الغذائية وتتميز بأنخفاض درجة تفاعلها وفي هذه الحالة تتميز التربة بقلة جاهزية الفسفور فيها مع وجود مستويات عالية من الالومنيوم والمنغنيز الذائب وتعطيل او تخفيض كفاءة أحياء التربة المثبتة للنتروجين الجوي وكذلك عدم أو قلة حدوث عملية النترتة (النترجة). أن تربة البدزول (Podzol) هي نموذج لمثل هذا النوع من الترب.

أما في حالة الموازنة الموجبة بمعنى انخفاض عملية الغسل وزيادة شدة التجوية فهنا تتكون ترب خصبة غنية بالعناصر الغذائية ومن أمثلة هذه الترب هي تربة الشيرنوزم (Chernozem) السوداء.

وبين هذين النموذجين للترب هناك ترب عديدة تمثل حالة وسطية فهي ليست غنية كما انها ليست فقيرة بالعناصر الغذائية.

ومما يجدر ذكره انه ليس كل الترب التي تظهر الموازنة الموجبة للعناصر الغذائية يجب أن تكون ترب خصبة. فمثلا قد يحدث تجمع للاملاح الى درجة السمية كما هو الحال بالنسبة للترب الملحية او الترب القلوية.

أن تطور الزراعة ادى الى حدوث عدم أنتظام موازنة العناصر الغذائية في التربة. ويعالج عدم الانتظام للتوازن الحاصل بين العناصر الغذائية الداخلة الى التربة والممتصة من قبل النبات باضافة الاسمدة سواء كانت كيمياوية أو عضوية. بالاضافة الى ذلك فأن أستعمال الاسمدة ادى الى تحسين خصوبة العديد من الترب والتي كانت او أصبحت ضعيفة الخصوبة وذات قيمة زراعية حدية او واطئة او ذات مردود أقتصادي قليل.

2.1.3 ـ أكتساب وفقد التربة للعناصر الغذائية

إن أكتساب التربة للعناصر الغذائية يكون عن طريق:

(أ) تحرر العناصر الغذائية وأنفرادها الى التربة عن طريق التجوية والتعدين.

(ب) أضافة الاسمدة بنوعيها العضوي والكيمياوي.

(جـ) تثبيت النتروجين الجوي.

(د) تجهيز العناصر الغذائية عن طريق المطر والثلوج.

أما الفقد الرئيسي للعناصر الغذائية فيكون عن طريق :
(أ) أمتصاص العناصر الغذائية من قبل النباتات .
(ب) عملية الغسل .
(جـ) التطاير لـ (NH_3 , N_2 , N_2O)
(د) التعرية
وسوف نتطرق لرسم دورات العناصر الغذائية في الطبيعة ، في الفصول اللاحقة .

2.3 ـ أنواع الاسمدة وموعد وطريقة أضافتها :

في كثير من الترب وفي حالات عديدة فأن مقدار ما يزال من العناصر الغذائية منها بواسطة أمتصاص النباتات لها خصوصاً عند استخدام نظام الزراعة الكثيفة والاصناف الحسنة والمنتخبة ذات الانتاجية العالية والنوعية الجيدة أو مقدار ما يفقد من هذه الترب بعمليات الغسل أو التطاير على شكل غازات (N_2 , NO_2 ، NH_3) أو التعرية يفوق كثيراً ما يضاف لهذه الترب من عناصر غذائية عن طريق التجوية أو تعدين المواد العضوية او ما يضاف للترب من نتروجين وكبريت بفعل أحياء التربة او ما ينزل عليها مع ماء المطر والثلج . ومن هنا يتبين وجود موازنة سالبة مالم تعالج الحالة بأضافة الاسمدة المختلفة

1.2.3 ـ الاسمدة العضوية

وتشمل مخلفات النبات والحيوان والانسان والتي تتضمن مخلفات الحقل بعد الحصاد ومخلفات الحيوانات والطيور والسماد الاخضر والاسمدة المخمّرة (الدمن) (Compost) بالاضافة الى مخلفات الانسان سواء كانت صلبة او سائلة (القمامة والمجاري) .

جدول (3-4) يوضح محتوى الاسمدة العضوية من العناصر الغذائية عن : (Mengel and Kirkby, 1982)

	نسبة الرطوبة	N	P	K	Ca	Mg
		نسبة العناصر في المادة الرطبة				
سماد الحقل الحيواني	76	0.50	0.11	0.54	0.42	0.11
مخلفات الابقار	93	0.31	0.07	0.32	0.11	0.04
مخلفات الخنازير	97	0.20	0.10	0.20	-	-
مخلفات المجاري	55	0.83	0.22	0.04	0.07	-

أن الجدول (3-4) يوضح ان محتوى الاسمدة العضوية من العناصر الغذائية يختلف طبقاً لمصدرها وكذلك حسب محتواها المائي.
كما يتضح ان سماد الحقل الحيواني يكون فقيراً بالفسفور وذلك لأحتوائه على نسبة عالية من القش. كما أن مخلفات المجاري تكون فقيرة بالبوتاسيوم لتعرضه للفقد أثناء تحضيرها كسماد.

إن قيمة الاسمدة العضوية لا تقدر فقط بمقدار محتواها من العناصر الغذائية ولكن جاهزية العناصر للنباتات تلعب أهمية كبيرة. وهذه النقطة يمكن الاستدلال عليها من خلال القيام بالتجارب الحقلية. واغلب النتروجين في الاسمدة العضوية

يوجد على شكل مركبات عضوية، ففي البول يوجد على هيئة يوريا وفي مخلفات الطيور على شكل حامض اليوريك وكلاهما يكون جاهزاً للتغذية النباتية. كما أن سماد الحقل الحيواني يكونَ اكثر مقاومة لعملية التحلل ويقدر (Cooke 1972) أن ثلث النتروجين فقط يكون سهل التحرر، والنتروجين المتبقي يظل لفترة طويلة في التربة بدون تغير والفسفور في السماد الحقلي الحيواني يوجد بشكل عضوي وان نصف الكمية تصبح جاهزة للنبات وبسرعة. أما بالنسبة للبوتاسيوم فانه يذوب تقريباً بالماء وبالتالي فأنه يكون اكثر جاهزية من عنصري النتروجين والفسفور. وطبقاً لما جاء به (Cooke 1972) فأن 25 طن/ هكتار من سماد الحقل الحيواني غالباً ما تجهز ما يقارب من 40 كغم نتروجين و 20 كغم فسفور و 80 كغم بوتاسيوم للمحصول في السنة الاولى.

2.2.3 ـ الاسمدة الكيمياوية (المعدنية)

وهي عبارة عن مواد أو مركبات طبيعية أو مصنعة ويقدر العلماء أن 50% من زيادة الانتاج في السنوات الاخيرة قد تعود الى استخدام الاسمدة الكيمياوية والتي وصل انتاج العالم منها عام 1983 الى 63.4 مليون طن من النتروجين و 33 مليون طن من P_2O_5 و 24.4 مليون طن من K_2O.
ويقدر العلماء الزيادة الحاصلة في استخدام الاسمدة الكيمياوية من عناصر (K,P,N) بحوالي 92%, 56%, 37% على التوالي خلال السنوات (1970-1982) (FAO, 1983). وتشمل الاسمدة الكيمياوية ما يأتي:

1.2.2.3 ـ الاسمدة النتروجينية :

أ) الاسمدة الأمونية

وهي الاسمدة المحتوية على نتروجين في صورة الامونيوم وهذه تمسك بواسطة غرويات التربة وغير معرضة للفقد بعملية الغسل . وهي سرعان ما تتحول بفعل احياء التربة الى نترات بواسطة عملية النترجة (Nitrification) . والاسمدة الامونية ذات تأثير فسيولوجي حامضي . ومن هذه الاسمدة كبريتات الامونيوم $(NH_4)_2SO_4$ ، كلوريد الامونيوم (NH_4Cl) .

ب) الاسمدة النتراتية

وهي الاسمدة المحتوية على نترات . وإن الجزء الاعظم من احتياجات النبات من النتروجين يمتص على هذه الصورة . والنترات عرضة للفقد بالغسل أو بعملية (Denitrification) وهي ذات تأثير قلوي ومن الاسمدة النتراتية نترات البوتاسيوم ، نترات الكالسيوم ونترات الصوديوم ونترات المغنيسيوم .

جـ) خليط من الاسمدة الامونية والنتراتية

ومنها نترات الامونيوم ، كبريتات نترات الامونيوم ونترات الامونيوم والكالسيوم .

د) الاسمدة الاميدية

وهي عبارة عن مركبات عضوية حاوية على النتروجين وهي ليست جاهزة مباشرة للنبات عند اضافتها للتربة بل يجب أن تتحول اولاً الى امونيوم وهذه بدورها تتحول الى نترات . وهي قابلة للذوبان في الماء ولذلك يجب أخذ الاحتياطات اللازمة عند اضافتها حتى لا تتعرض للفقد بالغسل وتعد اليوريا

$$C(=O)(NH_2)_2$$

اهم الاسمدة الاميدية .

وهي ذات تأثير حامضي وتحتوي على (46% N) .

هـ) الاسمدة النتروجينية السائلة

ومنها الامونيا والمحتوية على 82% نتروجين وهذه توضع بحدود 10-20 سم تحت سطح التربة خوفاً من تعرضها للفقد بالتطاير . والامونيا قد تكون مائية أو لامائية Aqua or anhydrous, ammonia ، وهي ذات تأثير قاعدي .

موعد وطريقة الاضافة :

تضاف قبل او عند الزراعة إما نثرا (Broad Cast) او على جانب الخط أي تلقيا بجانب النبات او في حفر (Band dressing) او بالرش (Foliar application).

ونظراً لسهولة فقد الاسمدة النتروجينية فأنها غالباً ما تجزأ الى عدة دفعات حيث تضاف الدفعة الاخيرة قبل فترة الازهار بفترة وجيزة لغرض تحسين نوعية الحاصيل الزراعية .

رفع كفاءة الاسمدة النتروجينية

لزيادة كفاءة الاستفادة من الاسمدة النتروجينية المضافة ولتقليل الفقد منها سواء بعملية الغسل أو التطاير أو فقد النتروجين على شكل (N_2, NO_2) بعملية (Denitrification) فقد اتبعت الاساليب الاتية : –

أ) استخدام اسمدة كيمياوية نتروجينية بحيث يتحرر منها النتروجين ببطء .
(Slow release nitrogen fertilizers)

مثل Ureaformaldehyde والمحتوية على 38-40% N وكذلك (IBDU) Isobutylidene di-Urea والتي هي عبارة عن خليط من اليوريا والـ Isobulytaldehyde وهذا المركب يحتوي على 32% N وتقدر درجة ذوبانه بحدود 0.1-0.01 غم / 100 مل .

ب) الاسمدة المغلفة **(Coated fertilizers)**

مثل Sulphur coated Urea (SCU) والمحتوية على 15-19% S و 30-37% N حيث تستخدم بحدود 2% من الوزن الكلي لهذا السماد المواد الشمعية أو مادة البولي اثيلين وزيت .

وقد بيّنت التجارب التي اجريت في الولايات المتحدة والفلبين والهند ومناطق اخرى أن سماد الـ (SCU) قد استعمل بنجاح في حقول الرز والمحاصيل ذات فترة النمو الطويلة مثل قصب السكر والاناناس في حين لم يكن فعالاً للمحاصيل ذات فترة النمو القصيرة مثل الذرة الصفراء والحنطة ... الخ .

حـ) وجد أن صناعة اليوريا بشكل حبيبات كبيرة (اكثر من 3 غم) **(Adjusted particle size)** كان فعالاً لتقليل الفقد بالتطاير أو بعمليتي النترجة ونزع النتروجين (Nitrification and Denitrificetion) .

د) استخدام مثبطات عملية النترجة **(Nitrification inhibitors)**

وجد أن استخدام المواد المثبطة لعملية النترجة تزيد من كفاءة السماد النتروجيني المستخدم لتقليل فقد النترات بعملية الغسل او بعملية نزع النتروجين (Denitrification) .

ومن امثلة هذه المواد مادة (N-Serve) أو Nitrapsin والتي هي عبارة عن 2- Chloro -6- (trichloromethyl) -pyridine وتقدر درجة ذوبانها بحدود 0.004 غم / 100 مل ويضاف منها بحدود 0.5-0.15 كغم / ha .

2.2.2.3 ـ الاسمدة الفوسفاتية

أ) السوبرفوسفات الاحادي **Single Superphosphate (SSP)**

ويحتوي من 17-20% P_2O_5 ويصنع باضافة الكبريتيك الى صخر الفوسفات (الاباتيت ، Apatite) طبقاً للتفاعل الا تي :

$$[Ca_3 (PO_4)_2]_3 \ CaF_2 + 7 \ H_2SO_4 \longrightarrow 3Ca (H_2PO_4)_2 + 7 \ CaSO_4 \ 2HF +$$

وهو يحتوي ايضاً على حوالي 16% S وتقدر درجة ذوبانه بحدود 90% ، وهو ذو تأثير حامضي ويفضل اضافته تلقيماً بعيداً عن البذور .

ب) السوبرفوسفات الثلاثي **Triple Superphosphate (TSP)**

ويصنع باضافة حامض الفسفوريك الى صخر الفوسفات ويحتوي على 44-52% P_2O_5 كما انه يحتوي على كمية قليلة من الكبريت تقدر بحوالي 1% .

ج) خبث الحديد **Basic slag**

وهو ناتج من مخلفات صناعة الحديد والصلب ويحتوي على P_2O_5 8-18% ، وهو عبارة عن فوسفات الكالسيوم والسليكون ويستخدم غالباً بنجاح في الترب الحامضية وللمحاصيل ذات فترة النمو الطويلة مثل قصب السكر .

د) صخر الفوسفات **rock phosphate**

ان استخدامه مباشرة يتطلب طحنه وتنعيمه لزيادة امكانية ذوبانه في التربة . وهو متعادل ويقدر محتواه من 29-37% P_2O_5 ومحتواه من الكالسيوم بحدود 35-38% CaO

هـ) فوسفات الكالسيوم الاحادي والثنائي

$CaHPO_4.2H_2O$, $Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$

تستخدم حالياً بكميات قليلة بسبب ارتفاع تكاليف صناعتها وهي تنتج من تفاعل صخر الفوسفات مع حامض الهيدروكلوريك HCl ثم اضافة الكلس لغرض التعجيل من عملية الترسيب . وهو يحتوي على 35% P_2O_5 .

ان فوسفات الكالسيوم الثنائي اقل ذوباناً من فوسفات الكالسيوم الاحادي ولذلك ينصح باستخدامه للمحاصيل ذات فترة النمو الطويلة مثل قصب السكر او في حالة الترب الحامضية .

موعد وطريقة الاضافة :

تضاف الاسمدة الفوسفاتية قبل الزراعة ويجب ان تخلط جيداً بالتربة وقد تضاف تلقيماً بالقرب من النباتات في جور والاسمدة الفوسفاتية تضاف عادة دفعة واحدة ولا تجزأ كما في حالة السماد النتروجيني .

ونظراً لبطء تحركها في مقد التربة وعدم تعرضها للفقد بعملية الغسل فيمكن اضافتها للبساتين في الخريف او حتى في الشتاء .

أما صخر الفوسفات فيكون مناسباً للترب ذات درجة التفاعل الاقل من (5.5) وفي حالة الترب المتعادلة او القلوية يكون غير مناسب او غير جاهز للنباتات كما ان صخر الفوسفات لزيادة تماسه مع الجذور وحبيبات التربة يجب ان يضاف نثراً ثم يقلب ويخلط جيداً بالتربة ولا ينصح باضافته تلقيا ، كما يجب اضافته قبل الزراعة بفترة لزيادة الفائدة منه .

3.2.2.3 ـ الاسمدة البوتاسية

تصنعّ الاسمدة البوتاسية من المواد الخام الحاوية على عنصر البوتاسيوم وتعتبر كندا ، الولايات المتحدة ، الاتحاد السوفيتي ، فرنسا المانيا الاتحادية واسبانيا اهم الدول التي تتواجد فيها خامات البوتاسيوم . واهم المعادن البوتاسية هي Sylvinite وهي خليط من (السلفيت (KCl) ، والهاليت (NaCl) والكارناليت Carnallite ($KCl\ Mg\ Cl_2.\ 6H_2O$) والكاينيت ($KCl.\ MgSO_4.\ 3H_2O$) ولانكبانيت Langbeinite ($K_2SO_4.\ 2Mg\ SO_4$) واخيراً KNO_3،

اما اهم الاسمدة البوتاسية فهي كلوريد البوتاسيوم وكبريتات البوتاسيوم وفوسفات البوتاسيوم المغنيسيوم . وهناك املاح تستخدم في حالة المزارع الغذائية مثل KH_2PO_4 أو K_2HPO وهي كمصدر لعنصري البوتاسيوم والفسفور .

ان سماد كلوريد البوتاسيوم يحتوى على 60% K_2O وهو متعادل ونظراً لمسك البوتاسيوم بواسطة غرويات التربة فهو غير عرضة للفقد بعملية الغسل وهو صالح لكل انواع الترب ماعدا الترب الملحية كما انه مناسب لجميع الحاصيل ماعدا التبغ والبطاطا . لان الكلور له تأثير سلبي على نوعيتها ولذا في هذه الحالة يفضل استخدام كبريتات البوتاسيوم .

وفي حالة الترب الرملية او المناطق ذات الامطار الغزيرة او الترب الغرقة (عند زراعة محصول الرز) ينصح بتجزئة السماد البوتاسي خوفاً من عملية الفقد بالغسل . اما كبريتات البوتاسيوم فتحتوي على 48-52% K_2O, 18% S ويفضل استخدامها لمحاصيل الخضر والفاكهة والتبغ والبطاطا . كما تفضل اضافتها في الترب الملحية وكذلك في تجارب البيوت الزجاجية خوفاً من خطر تجمع الكلور والذي يشكل مشكلة اضافية للترب الملحية ولشدة حساسيةّ النباتات في البيوت الزجاجية للسمية بانيون الكلوريد .

وبالنسبة لكبريتات البوتاسيوم والمغنيسيوم ($K_2SO_4\ .MgSO_4\ .6H_2O$) تحتوى على 22-30% K_2O, 16-23% MgO وينصح باستخدامها في الترب الحامضية وللمحاصيل ذات الاحتياجات العالية من المغنيسيوم مثل البطاطا واشجار الفاكهة والخضروات واشجار الغابات وخاصة في حالة وجود نقص بالمغنيسيوم في الترب المزروعة بالمحاصيل السابقة .

أما الكاينيت **Kainite**

فيحتوي على 14-22% K_2O وكذلك على 46% Cl وتأثيره قاعدي ويفضل استخدامه لمحصول البنجر السكري .

4.2.2.3 ـ الاسمدة المركبة Complex fertilizers

وهي الاسمدة المحتوية على أكثر من عنصر غذائي. واكثر الاسمدة المركبة انتشاراً هي فوسفات الامونيوم ، فوسفات البوتاسيوم ، Nitrophosphate واسمدة الـ NPK ومنها N,P , K,P , N,K , NPK

وقبل التطرق الى الاسمدة المركبة يستحسن توضيح بعض المصطلحات المتعلقة بها :

أ) درجة السماد **Fertilizer grade**

ويقصد بها النسبة المئوية لمحتوى العناصر الغذائية من هذا السماد فلو فرض لدينا سماد مركب 20-10-10 فهذا يعني ان كل 100 كغم من هذا السماد تحتوي على 20 كغم N كلي ، 10 كغم P_2O_5 و 10 كغم K_2O .

ب) نسبة السماد **Fertilizer ratio**

وتعني نسبة العناصر الغذائية في السماد ، ففي المثال السابق 20-10-10 فان نسبة عناصر N-P-K هي 2:1:1 .

جـ) المادة المالئة **Filler**

وهي مادة غير غذائية مثل الرمل أو الجير .

د) المادة المحسنة **Conditioner**

وهي المادة المضافة للسماد لتحسين الظروف الفيزياوية للسماد .

هـ) التغليف **Coating**

وتصنف المواد مثل الغبار أو الطين لغرض تغليف حبيبات السماد لمنع تسرب الرطوبة وبالتالي منع تحجر السماد وتماسكه .

مزايا الاسمدة المركبة :

أ) تحتوي على أكثر من عنصر غذائي في عبوة واحدة لذلك يكون أقل كلفة سواء في عمليات النقل أو التخزين أو الاضافة .

) توفير في الوقت والجهد المبذول في الحقل .
جـ) أكثر ضماناً لعملية التوازن الغذائي وبالتالي ضمان الحصول على غلة كثيرة ذات نوعية جيدة وبتكاليف أقل .
د) يمكن اضافة العناصر الغذائية الصغرى الى الاسمدة المركبة في المصنع وهذا من شأنه تسهيل مهمة المزارعين للحصول عليها وبالتالي تفادي ظهور اعراض نقصها والذي ينعكس بلا شك سلبياً على الحاصل ونوعيته .

ومن الأسمدة المركبة ما يأتي :

أ) **Monoammonium phosphate (MAP)**

ويحتوي من 52-55% P_2O_5 ويذوب كلياً في الماء كما يحتوي على 11-12% N .
ويحصل عليه كالآتي :

$$H_3PO_4 + NH_3 \longrightarrow NH_4H_2PO_4$$

ب) **Diammonium phosphate (DAP)**

ويحتوي على 46% P_2P_5 , 18% N ويصنّع كالآتي :

$$2NH_3 + H_3PO_4 \longrightarrow (NH_4)\ HPO_4$$

جـ) **Ammonium Phosphate Sulphate (APS)**

ويحتوي على 60% كبريتات الامونيوم ، 40% فوسفات الامونيوم وإن النتروجين في هذا السماد يقدر بـ 16% N كما أنه يحتوي على 20% P_2P_5 .

د) **Urea Ammonium Phosphate (UAP)**

ونحصل عليه بتفاعل الامونيا (NH_3) مع حامض الفسفوريك وهو يحتوي على نسب مختلفة من N ,P_2P_5 .

هـ) **Ammonium Polyphosphates (APP)**

يوجد الفسفورفيه في صورة فوسفات الامونيوم الاحادي ($NH_4H_2PO_4$) وقد يضاف له العناصر الغذائية الصغرى ويكاد يقتصر استخدامه في الولايات المتحدة الامريكية ويوجد منه عدة انواع مثل 0-30-11, 0-40-12, 0-27-8, 0-61-15, وهو يذوب كلياً في الماء . ويمكن استخدامه لكل الترب ولكافة انواع الحاصيل وفي البداية يكون غير جاهز للنبات ويجب أن يتحول أولاً الى اورثوفوسفات في التربة قبل امتصاصه بواسطة جذور النبات .

و) Nitrophosphates

ويحضر بمعاملة صخر الفوسفات مع خليط من احماض النتريك والفسفوريك او الكبريتيك . كما أنه يغلف لتقليل دخول الرطوبة ومنعه من التصلب والتماسك . وهو يذوب كلياً في حامض الستريك في حين تقدر درجة ذوبانه في الماء من صفر الى اكثر من 80% (FAO, 1948) .

ويذكر أن السماد الذي تبلغ درجة ذوبانه 60% يكون كافياً للنباتات ذات فترة النمو الطويلة مثل قصب السكر وكذلك يكون مناسباً للترب الحامضية ولكنه يكون غير مناسب لمحاصيل الحبوب والبطاطا ذات فترة النمو القصيرة .

ز) NPK Complex Fertilizers

وهو سماد مركب يحتوي على عناصر K, P, N

ويمكن الحصول عليه بأضافة فوسفات الامونيوم و Nitrophosphate ويمكن اضافة زيادة من البوتاسيوم وأذا مادعت الضرورة يمكن اضافة النتروجين في صورة الامونيوم أو النترات أو اليوريا .

ويتميز هذا السماد بسهولة التحضير وبقلة الكلفة والاهم من ذلك هو أضافة العناصر الغذائية K, P, N في عملية واحدة . علاوة على ضمان عملية التوازن الغذائي لهذه العناصر الثلاثة .

ومما يجدر الاشارة اليه انه يمكن الحصول على اسمدة مختلطة قد تحتوي على عنصر غذائي او اكثر في اثناء عملية التصنيع قبل النهائية . كما يمكن الحصول على الاسمدة المختلطة بصورة مساحيق أو في صورة حبيبات او حتى في صورة أسمدة مختلطة سائلة . وبالطبع فان الاسمدة المختلطة تختلف عن الاسمدة المركبة خصوصاً في عملية التحضير او التصنيع .

3.3 ـ المبادىء الاساسية لاستخدام الاسمدة من الناحية التطبيقية :

الاسمدة النتراتية اي الحاوية على نترات مثل نترات البوتاسيوم او نترات الصوديوم او نترات الكالسيوم او نترات المغنيسيوم تكون ذات تأثير قاعدي ولذلك فهي لاتصلح لظروف العراق ويفضل أستعمالها في الترب الحامضية مثل الترب الاوربية ، في حين ان الاسمدة الامونية تكون ذات تأثير حامضي لذلك ينصح بأستخدامها في الترب القاعدية مثل الترب العراقية والتي يتراوح درجة تفاعلها من (8.2-7.4) حسب محتواها من كاربونات الكالسيوم .

أما سماد نترات الامونيوم والذي يحتوي على 33% N فله تأثير متعادل ويحتوي على النترات (NO_3^-) والامونيوم (NH_4^+) يمتصهما النبات بنفس الكفاءة خصوصاً تحت الظروف المتعادلة (6.8 PH) في حين تمتص النترات بدرجة أعلى في الظروف الحامضية وصورة الامونيوم تمتص بصورة افضل تحت الظروف القاعدية . وغالباً مايستخدم سماد نترات الامونيوم للعلاج السريع في حالة ظهور نقص النتروجين كما يستخدم بكثرة في حالات المزارع الغذائية لتفادي التغير في pH المحلول المغذي .

ومما يذكر أن الاسمدة النتراتية نظراً لقابليتها للاشتعال أو الانفجار فيجب التعامل معها بحذر أثناء الخزن او النقل او الاستخدام .

أما الاسمدة البوتاسية والفوسفاتية والتي من الصعب تعرضها للفقد بعملية الغسل في الترب الثقيلة والمتوسطة النسجة فيمكن اضافتها في الخريف وتخلط جيداً بالتربة المعدة للزراعة في الربيع أو بالنسبة لأشجار الفاكهة . كما أنه في الترب الرملية يفضل تجزئة السماد البوتاسي خوفاً من الفقد بعملية الغسل .

وبالنسبة لمحاصيل الحبوب والخضر فيمكن اضافتها مع الدفعة الاولى من السماد النتروجيني قبل الزراعة ، وفي حالة الزراعة في خطوط او مروز فيمكن أضافتها تلقيماً بجوار النباتات او حتى في حفر قريبة من البذور او النباتات ثم تغطيتها بالتربة ، كما في حالة محاصيل الذرة الصفراء ، القطن ، البنجر السكري .... الخ ، أما بالنسبة للاسمدة النتروجينية ونظراً لتعرضها للفقد بعمليات الغسل او التطاير فأنه يفضل تجزئة السماد النتروجيني الى دفعات تتراوح من 2 الى 4 بحيث تضاف الدفعة الاخيرة قبل الازهار بفترة وجيزة لغرض تحسين نوعية المحاصيل الزراعية .

وبصورة عامة للترب القليلة الخصوبة يفضل أضافة الاسمدة بطريقة التقليم سواء في خطوط او في حفر قريباً من النباتات . هذا الاسلوب يفضل ايضاً اتباعه في حالة الترب ذات القدرة العالية على تثبيت العناصر الغذائية وهي الترب ذات المحتوى العالي من الطين خصوصاً معادن الطين الثانوية من نوع 2:1 مثل الايلايت (Illite) المونتموريللونايت (Montmorillonite) والفيرميكولايت (Vermiculite) والتي تعمل على تثبيت البوتاسيوم والامونيوم او معادن الطين الثانوية من نوع 1:1 مثل الكاؤلينايت (Caolinite) والهالوسايت (Hallosite) المثبتة للفوسفات . أما سمادي البوتاسيوم (كلوريد البوتاسيوم وكبريتات البوتاسيوم) فذات تأثير متعادل .

هذا ويمكن اضافة العناصر الغذائية بشكل محاليل غير انه يجب ان يلاحظ ان الاوراق واجزاء النبات الهوائية الاخرى لايمكنها أمتصاص ايونات العناصر الغذائية بنفس كفاءتها في أمتصاص الغازات مثل (SO_2 O_2 ، CO_2) وذلك لان خلايا البشرة الخارجية للاوراق مغطاة بالكيوتيكل والذي يكون قليل النفاذية للماء والمواد الذائبة فيه . ومن هنا يتبين لنا ان النبات يمكنه أن يحصل على جزء من احتياجاته من العناصر الغذائية عن طريق الاجزاء الهوائية .

ومما يذكر أن أمتصاص العناصر الغذائية يكون افضل عندما يبقى المحلول المغذي لفترة اطول على شكل أغشية رقيقة على سطح الاوراق . وفي الايام الحارة وذات الايام الصافية والخالية من السحب عندما يكون التبخر عالياً فقد تتجمع الاملاح على سطح الاوراق مما يؤدي الى حرقها ، ولتجنب ذلك فانه ينصح غالباً بأستعمال محاليل ذات تراكيز منخفضة (من 2% الى 5%) وان تجرى عملية الرش في الايام ذات درجة الحرارة المنخفضة والملبدة بالغيوم وان تجري مساء خاصة في ايام الصيف .

كما سبق وان بينا فان اضافة الاسمدة عن طريق رش الاوراق (Foliar application) تجعل النبات يحصل على جزء من حاجته من العناصر الغذائية ولذلك فهي لاتكون ناجحة في حالات العناصر الغذائية الكبرى خصوصاً النتروجين والفسفور والبوتاسيوم ولكنها قد تكون مفيدة في حالات العناصر الغذائية الصغرى خاصة عندما تكون اضافتها للتربة عرضة للترسيب وعدم استفادة النباتات منها كما في حالة الحديد والنحاس والزنك والمنغنيز والبورون في حالة الترب القاعدية كما هو الحال بالنسبة لظروف العراق ولذلك ينصح بأضافة العناصر الغذائية الصغرى اما رشاً على الاوراق واضافتها للتربة في صور المركبات الخلبية (Chelate compounds).

وحيث ان العناصر الغذائية الصغرى يحتاجها النبات بكميات قليلة فإن اضافتها بالرش لمرة واحدة او مرتين بصورة سليمة في الوقت المناسب تكون فعالة لتغطية احتياجات النبات منها .

ان اضافة المغذيات باستعمال التسميد الورقي بالرش غالبا ماتكون ناجحة على اشجار الفاكهة بشكل خاص حيث ان النظام الجذري لها يكون متعمقا وان اضافة العناصر الغذائية الى التربة يكون ذو فائدة محدودة علاوة على تشجيع نمو الحشائش والادغال . فقد اشار (Cooke, 1972) ان اضافة اليوريا رشا على اشجار التفاح (عندما تكون تربتها مغطاة بالحشائش) هي الطريقة الافضل لسد حاجة اشجار التفاح من عنصر النتروجين .

كما وضح (1968, Schumacher and Frankenhauser) ان رش ثمار التفاح بمحلول يحتوي على الكالسيوم طريقة ناجحة ومفيدة لتجنب الاصابة بمرض النقرة المرة (Bitter pit) في ثمار التفاح والتي هي عبارة عن بقع قهوائية او بنية اللون . وبوجه عام فإن التعامل مع الاسمدة السائلة سهلة الاستعمال والاضافة مقارنة بالاسمدة الصلبة وذلك عند توفر الادوات الخاصة بالاضافة . وهذه الاسمدة عند ملامستها للتربة فانها تتفاعل مع التربة بنفس الكيفية التي تتفاعل بها الاسمدة الصلبة . وبصورة عامة لم يلاحظ اية فروقات بين الاسمدة السائلة والصلبة على نمو النبات وحاصلة .

ان التغذية المعدنية المتوازنة ضرورية ومطلوبة لغرض الحصول على حاصل عال ذو نوعية جيدة ، ولهذا السبب فإن نسبة العناصر الغذائية الموجودة في الاسمدة المضافة تعتبر على درجة كبيرة من الاهمية . هذه النسبة تتوقف على عوامل عديدة ومن اهمها خصوبة التربة ونوع المحصول والنوعية المطلوبة من زراعته وكذلك ادارة المحصول . فالنوعية تختلف حسب الغرض الذي يزرع من اجله النبات فمثلاً زراعة الشعير المخصص لتغذية الحيوانات كعلف يختلف عن الشعير المخصص لصناعة البيرة . فالشعير المخصص لصناعة البيرة يجب ان لا تزيد نسبة البروتين فيه عن 7% حيث تقل كفاءته في عملية التخمير بزيادة نسبة البروتين فيه . ونفس الشيء ينطبق على درنات البطاطا المخصصة لغذاء الانسان او المخصصة لصناعة النشاء ففي حالة درنات البطاطا المخصصة لصناعة النشاء يجب الاهتمام بالتسميد الفسفوري للحصول على نشاء جيد ذو مواصفات مرغوبة حيث يكون اكثر لزوجة وانصع بياضا لدور الفسفور في عملية الاسترة مع جزئيات النشاء .والبطاطا المخصصة لتغذية الانسان او لصناعة النشاء من الضروري الاهتمام بعنصر البوتاسيوم لدوره المعروف في زيادة الكاربوهيدرات من ناحية ولعدم ظهور ظاهرة الاسوداد (Blackening) اثناء عملية الطهي او القطع من ناحية اخرى .

وبناء على ماتقدم فاذا كانت التربة فقيرة باحد العناصر الغذائية كالفسفور مثلاً فهنا يجب اضافة سماد مركب ذو محتوى عال نسبيا من الفسفور . وفي حالة النقص الشديد فانه ينصح باضافة الاسمدة الفوسفاتية من اجل رفع خصوبة التربة الى المستوى المطلوب . مثل هذه الحالة موجودة في الترب ذات القابلية العالية على تثبيت الفسفور او البوتاسيوم .

وفي الترب العالية الخصوبة فإن نسب امتصاص العناصر الغذائية تكون دالة وذات مؤشر جيد يستدل منها على احتياجات النبات من العناصر الغذائية . لذا فانه يمكن الاستفادة منها واستعمال هذه النسب في حساب معدلات الاسمدة

واختيار افضل الاسمدة المركبة لتمكين النباتات من الحصول على احتياجاتها من هذه العناصر. فلقد اوضح (1968, Von Bogus Lawski and Von Gierke) ان نسبة كميات النتروجين والفسفور والبوتاسيوم الممتصة من قبل محاصيل الحبوب هي بمعدل 1:0.3:0.8 وبالنسبة لمحصولي البنجر السكري والبطاطا فكانت 1:0.3:0.8:4 وبناء على هذه النسب فإن الاسمدة المركبة الحاوية على النسب التي تقارب من 1:0.5:1 من عناصر النتروجين والفسفور والبوتاسيوم على التوالي ينصح باستعمالها في محاصيل الحبوب. في حين ان البنجر السكري والبطاطا تحتاج الى اسمدة مركبة ذات نسبة عالية من البوتاسيوم. ان نسب امتصاص عناصر النتروجين والفسفور والبوتاسيوم بواسطة النباتات التي تزرع من اجل اجزائها الخضراء الهوائية مثل الحشائش والجت والبرسيم والخس واللهانة والكرفس والمعدنوس تقارب من 1:0.15:1.1 . وبالنسبة للجت والبرسيم ونظرا لقدرتها على تثبيت النتروجين الجوي فانه يضاف فقط الفسفور والبوتاسيوم بكميات كبيرة ويضاف كمية صغيرة من النتروجين في بداية او قبل الزراعة لضمان تكوين مجموعة جذرية جيدة وقوية وبالتالي زيادة كفاءتها في عملية تثبيت النتروجين الجوي. ولذلك فانه من الخطأ تماما اهمال عملية اضافة النتروجين قبل او عند الزراعة بالنسبة للنباتات البقولية.

ان كمية الفسفور التي تحتاجها المحاصيل هي اكبر من الكميات التي يتم التوصل اليها لان كميات كبيرة من الفسفور المضاف تثبت من قبل التربة.

فقد اشار (1965, Kohnlein and Knauer) ان مقدار الفسفور الذي يمتص من قبل النباتات يتراوح ما بين 21 و 72% وان الباقي من الفسفور يثبت في التربة.

وعند حساب نسب العناصر الغذائية الملائمة لاضافة الاسمدة المعدنية يجب ان يؤخذ بنظر الاعتبار نتائج التجارب الحقلية والدورة الزراعية المتبعة وادارة المزرعة. حيث ان بقايا المحصول يكون لها تأثير على كمية العناصر الغذائية التي يحتاج اليها المحصول اللاحق للمحصول السابق. فقد وجد ان قش محاصيل الحبوب يحتوي على ما يقارب من 17 كغم نتروجين، 3 كغم فسفور و 30 كغم بوتاسيوم في الهكتار. وعند خلط القش في التربة فإن المحصول الذي سوف يزرع في السنة التالية سيحصل على البوتاسيوم ولكن هذا المحصول يحتاج الى كميات اضافية من النتروجين لان قسماً من النتروجين الذي يضاف سوف يستهلك من قبل احياء التربة المحللة لهذا القش. وخوفا من إستنزاف نتروجين التربة فانه ينصح غالبا باضافة

1 كغم من النتروجين لكل 100 كغم من القش كما أشرنا الى ذلك سابقا . إن بقايا البنجر السكري تعتبر مصدرا جيدا للعناصر الغذائية فهي تحتوي على ما يعادل 100 كغم نتروجين ، 10 كغم فسفور و 100 كغم بوتاسيوم/ هكتار ، غير ان محصول البنجر السكري يتطلب العناصر الغذائية بكثرة حيث يقدر ما يقرب من 260 كغم نتروجين ، 40 كغم فسفور و 360 كغم بوتاسيوم يمتصه النبات في الهكتار الواحد من التربة . ومن هذا يتضح ان هذا المحصول يحتاج الى كميات كبيرة من العناصر الغذائية وخاصة عنصري البوتاسيوم والنتروجين .

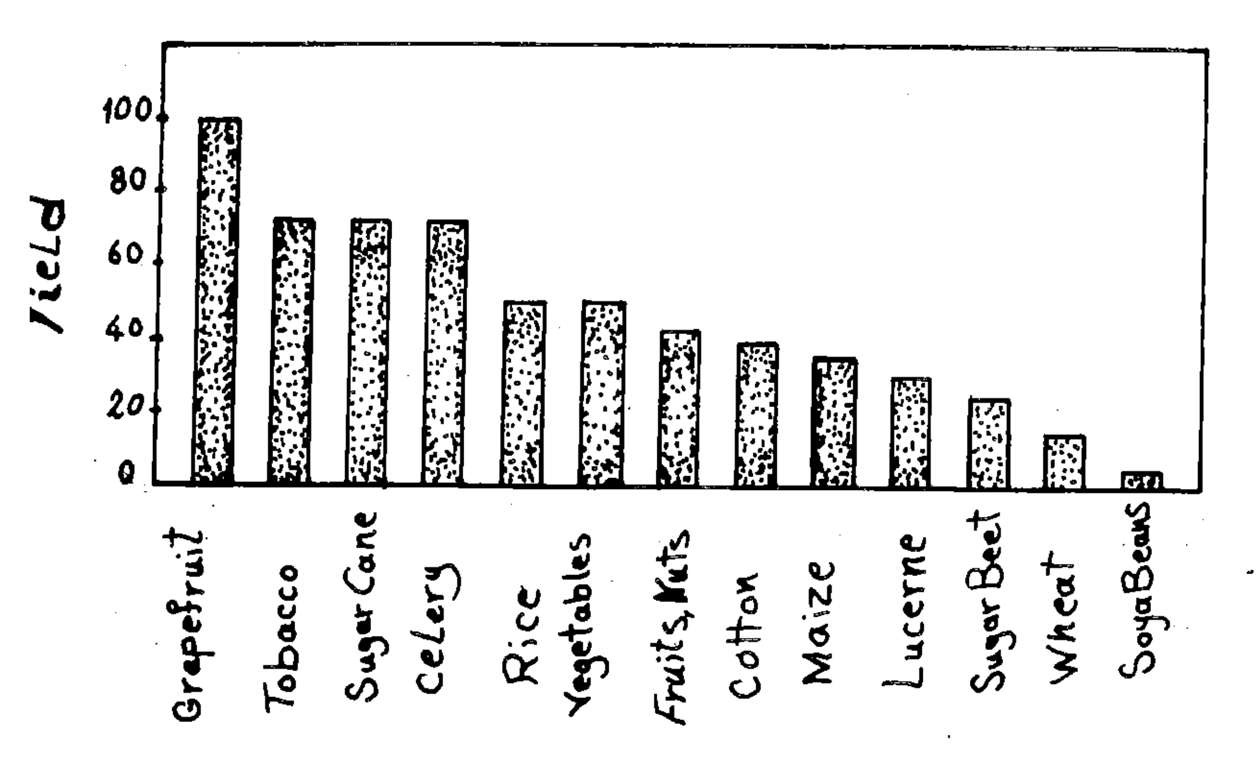
وعند زراعة الاعلاف فإن جزءا لا بأس به من العناصر الغذائية تعاد للتربة بصورة مباشرة من قبل حيوانات المزرعة، في المروج الدائمة فإن الحيوانات تعيد ما يقارب من 75 الى 80% من الفسفور والبوتاسيوم الممتص من قبل نباتات العلف . ولهذا فإن نسبة عنصري الفسفور والبوتاسيوم في الاسمدة المضافة يجب ان تكون واطئة (Bergmann 1969) .

هذا وتعتمد نسبة العناصر في الاسمدة على نظام الزراعة المتبع . ففي حالة نظام الزراعة الكثيفة تزداد الحاجة الى الاسمدة البوتاسية كما أشار الى ذلك (Cooke 1974) .

إن استعمال الاسمدة تعتبر احد العوامل المهمة في زيادة الانتاج للمحاصيل الزراعية بالاضافة الى تحسين نظام الزراعة واستعمال المبيدات . فقد قام Viets 1971 باجراء دراسة حول تأثير توقف التسميد بالنتروجين والفسفور لمدة سنة واحدة وعلى عدد من المحاصيل . فلاحظ انخفاض الحاصل لهذه النباتات كما يتضح ذلك من الشكل (4-1) التالي .

ومن اجل الحصول على استجابة جيدة لاضافة الاسمدة وخاصة النتروجينية فانه يجب استنباط اصناف جديدة محسنة مقاومة لعملية الرقاد بالنسبة للحنطة والشعير والشوفان والشيلم ومثل هذه المحاصيل تكون استجابتها محدودة للاضافات المتزايدة من السماد النتروجيني .

ومما تجدر الاشارة اليه ان اضافة الاسمدة الكيمياوية قد يكون لها تأثير سلبي في تلوث البيئة وخاصة في تلوث مياه الشرب وتأثيرها الضار على الاحياء المتواجدة في البرك والانهار (Dam Kofoed 1974) .



شكل (4-1) تأثير توقف التسميد بالنتروجين والفسفور لمدة سنة على غلة الحاصيل المبينة في الشكل. عن : (Viets, 1971) .

إن وجود النترات والبورون تعتبر من أهم العوامل المؤثرة في نوعية مياه الشرب . والنترات بحد ذاتها غير سامة ولكن النتريت الناتج من اختزال النترات يسبب اختلال وظيفة الهيموكلوبين (Methaemogolobinemia) في الاحداث وان منظمة الصحة العالمية قد حددت تركيز النترات في مياه الشرب بـ 10 جزء بالمليون . وهذا التركيز قد رفع الى 23 جزء بالمليون في اوربا والى 45 جزء بالمليون من النترات في اميركا .

وبالنسبة لعنصر البورون فيعتبر ماء الشرب غير صالح اذا زاد محتواه عن واحد جزء بالمليون .

إن وجود عناصر غذائية اخرى مثل الفسفور والبوتاسيوم والمغنيسيوم والصوديوم هو مرغوب فيها ويحسن من نوعية ماء الشرب .

ما هو [illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

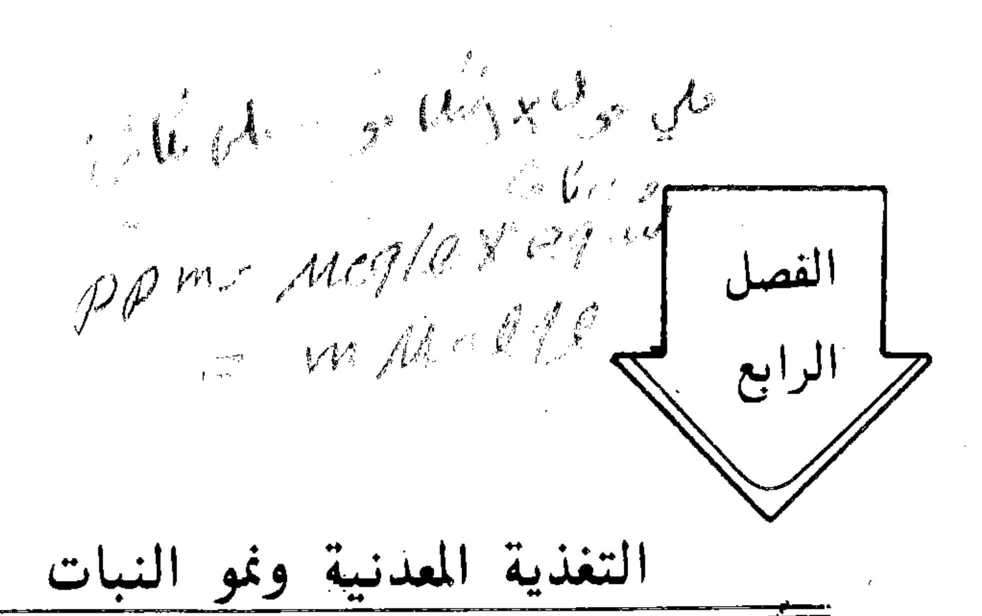
[illegible]

[illegible] 6 Mg [illegible] N [illegible]

[illegible]

[illegible] Mo / B / Al

Fe [illegible] Ag [illegible]



التغذية المعدنية ونمو النبات

1.4 ـ مراحل النمو ومكونات الحاصل

1.1.4 ـ فكرة عامة :

إن الهدف من زراعة أي نبات أو محصول هو الحصول على أعلى حاصل اقتصادي وأحسن نوعية وبأقل التكاليف . ولأجل تحقيق هذا الهدف المنشود والنجاح في ذلك لابد من تهيئة كل الظروف البيئية الملائمة والاهتمام بكل العوامل الاخرى التي تؤثر على هذا النبات وفي مراحل نموه المختلفة . ولاشك أن التغذية المعدنية الصحيحة والمتوازنة تلعب دورا مهما الى جانب عوامل النمو الاخرى والكثيرة والتي يمكن اجمالها بالعوامل الوراثية (Genetic factors) وهي العوامل الداخلية والتي تتلخص بتحسين وانتخاب افضل الاصناف ذات الانتاجية العالية والنوعية الجيدة عن طريق ادخال الجينات او العوامل الوراثية ذات الكفاءة العالية في زيادة الحاصل كما ونوعا وكذلك انتخاب الاصناف المقاومة للامراض او الاصابة بالحشرات او المقاومة للجفاف او البرد او الاصناف غير الحساسة للملوحة وكذلك انتخاب الاصناف المبكرة في النضج وبالتالي تفادي مهاجمة المحصول في مراحل نموه الاخيرة بالحشرات او الامراض . اما العوامل البيئية (Environmental factors) التي تؤثر على نمو النبات فتشمل جميع العوامل الخارجية من درجة الحرارة والضوء والماء والهواء الجوي ونسجة التربة وبناؤها ومحتواها من الطين والدبال وتفاعل التربة وتوفر العناصر المعدنية في التربة وجاهزيتها والرياح والعواصف والاعاصير واحياء التربة والاصابة بالامراض والحشرات وكما أن الانسان نفسه وما يتبع ذلك من تدخله في العمليات الزراعية من حراثة وتسوية وعزق أو تعشيب للحشائش والادغال واضافة الاسمدة العضوية او الكيمياوية والدورات الزراعية المتبعة او الرش بالمبيدات .... الخ .

2.1.4 ـ النمـــو : Growth

يمكن تعريف النمو بأنه النشوء او التحول التدريجي الذي يحصل للنبات من بدء دورة حياته والتي تبدأ بالانبات وحتى مرحلة النضج الكامل والذي يكون مصحوبا بزيادة الوزن الجاف للنبات او بزيادة حجمه او طوله او قطره .

كما يمكن تعريف النمو بأنه زيادة المادة البروتوبلازمية الحية للكائن الحي أو زيادة عدد خلاياه فعند انبات البذور تحدث فيها تغيرات كيمياوية حيوية حيث يبدأ الانبات بامتصاص البذور للماء وبذلك تنتفخ نتيجة لتشرب البذور بالماء (Imbibition) مما يهيء الظروف الملائمة لعملية التنفس . وعند امتصاص البذور للاوكسجين فإن المخزون من الكاربوهيدرات والدهون واحيانا البروتينات تتأكسد الى ثاني اوكسيد الكربون والماء وينتج عن ذلك طاقة متحررة على شكل الـ ATP و $NADPH_2$. وهذه الطاقة تكون ضرورية لعملية النمو . والبروتينات المخزونة في البذور تتحلل مائيا والاحماض الامينية الناتجة تستعمل في تكوين الانزيمات والبروتينات الاخرى والاحماض النووية وكل من هذه المركبات تكون ضرورية في تكوين الخلايا المرستيمية وانقسام الخلايا التي تعتبر العملية المولدة والاساسية للنمو .

وعملية الانبات تحتاج الى درجة حرارة مثلى وكما سبق تحتاج الى تجهيز البذور بالماء والاوكسجين إلا أنها علاوة على ذلك فانها تحتاج الى عوامل ملائمة في داخـل البـذور نفسها . هـذه العوامـل الداخلية للنمو هـي بصورة رئيسية الهرمونات مثـل حامـض الابيسيك ABA (Abscisic acid) وحامـض الجبـريليـك GA_3 (Gibberellic acid) ,IAA واندول حامض الخليك (Indole acetic acid) والسايتوكاينينات Cytokinius

أي أن عملية الانبات تعتمد على هذه الهرمونات او تحللها . ودرجة الحرارة المثلى تكون الجبرلين والـ IAA اللذان يحفزان الانبات كما تعمل درجة الحراة على زيادة تحلل حامض الانبسيك الذي يمنع الانبات .

ويذكر أن منظمات النمو (الهرمونات) والتي تشمل المنشطات والمثبطات تتكون داخل النبات وبتراكيز قليلة جدا وتعمل على تنظيم الفعاليات الحيوية الفسلجية وهي تنتقل داخل النبات من أماكن تكوينها الى حيثما يحتاج اليها النبات .

إن نمو الكائنات الحية الراقية يكون مصحوبا بتخصص المواد العضوية الحية الى انسجة واعضاء نباتية مختلفة .

وإن عضو النبات الاول الذي يتكون بعد عملية الانبات هو الجذير والذي يتطور الى الجذر الذي يقوم بامتصاص الماء والعناصر الغذائية وبعد ذلك يبدأ نمو اجزاء النبات العليا الهوائية وعندما تخترق الطبقة السطحية من التربة تبدأ عملية تكوين الكلوروفيل بمساعدة الضوء . من هذه المرحلة من النمو يبدأ الدور المهم لعاملي النمو الضوء وثاني اوكسيد الكربون وتزداد أهمية هذين العاملين بازدياد استهلاك المواد المخزونة في البذور . إن الاوراق الحديثة لا تستطيع أن تجهز ما تحتاج اليه بذاتها بل يجب أن تجهز بالكاربوهيدرات والاحماض الامينية في مرحلة البادرة وهذا التجهيز بالمواد العضوية يكون من قبل المواد المخزونة في البذور ولكن عند بداية الطور الخضري الذي يتصف بالنشوء السريع للسيقان والاوراق والجذور فإن مصادر المادة العضوية للنمو تنتقل من مصدر البذور الى الاوراق . والمواد المتمثلة من عملية التركيب الضوئي في الاوراق القديمة تكون المصدر التجهيزي للانسجة الحديثة التكوين ويستمر تجهيز الاوراق الحديثة التكوين بالكاربوهيدرات حتى تصل هذه الاوراق الى ثلث حجمها النهائي في حين أن انتقال الاحماض الامينية للاوراق الحديثة التكوين يستمر حتى تصل هذه الاوراق الى حجمها النهائي (Milthorpe and Moorby 1969) .

ويذكر أن الاوراق الكاملة النضج تصدر ما يقرب من 50% من المواد التي تنتجها عملية التركيب الضوئي والباقي تحتاج لعملياتها الحيوية وخاصة التنفس . ويتبع الطور الخضري طور التكاثر والذي يبدأ بتكوين الازهار وعندما يحدث التلقيح والاخصاب يبدأ تكوين البذور والثمار وعندها ينهي النبات الحولي دورة حياته . هذا وتمر الخلية اثناء نموها بعدة مراحل متتالية ففي المرحلة المرستيمية يقتصر الامر على زيادة عدد الخلايا وقلما يصاحب ذلك زيادة في حجمها او وزنها وبعد ذلك تأتي مرحلة الزيادة في حجم الخلايا حيث تبدأ الخلايا في امتصاص الماء ومركبات العناصر الغذائية المذابة وينتج عن ذلك تكوين الفجوات الخلوية الصغيرة التي سرعان ما تتحد مع بعضها مكونة فجوة كبيرة تحتل مركز الخلية ويندفع سايتوبلازم الخلية فيلتصق بغشاء الخلية وعند هذه المرحلة من النمو تتميز الخلايا حسب الوظيفة المهيأة لها (Differentiation) .

ولا نود هنا الدخول في شرح تفصيلي للنمو وكيفية تأثير العوامل المختلفة على نمو النبات فهذا ليس هدف الكتاب ولكننا سنكتفي بتوضيح العلاقة بين نمو النبات والتجهيز بالعناصر الغذائية .

3.1.4 ـ معدل النمو والتجهيز بالعناصر الغذائية

يمكن التعبير عن انتاج المحصول الاقتصادي بمصطلح بيولوجي او بمصطلح زراعي . ويفهم من الحاصل البيولوجي بأنه الناتج الكلي من مادة النبات بما في ذلك الجذور والاوراق والسيقان والازهار والحبوب او الثمار . في حين أن الحاصل الاقتصادي والذي يسمى احيانا بالحاصل التجاري (Holliday 1976) فإنه يشمل فقط اجزاء النبات التي من أجلها يزرع او يحصد هذا النبات . وعلى سبيل المثال بذور محاصيل الحبوب او جوزات القطن المحتوية على الالياف والبذور او سيقان قصب السكر او درنات البطاطا او جذور البنجر السكري ..... الخ . وبالنسبة لحاصل العلف او محاصيل الخضر مثل الخس واللهانة والكرفس والمعدنوس فإن اجزاءها الهوائية والتي تتكون فوق سطح التربة خلال مرحلة النمو الخضري هي التي تمثل الحاصل الاقتصادي .

هذه الحالة لا تنطبق على كل المحاصيل النباتية حيث أن نمو النبات خلال الطور الخضري هو المهيمن على الحاصل البيولوجي وكذلك على الحاصل الاقتصادي أو التجاري حيث تقوم انسجة النبات الخضراء بتجهيز المواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي والتي تنتقل الى البذور أو الانسجة الخازنة .

إن الانسجة المرستيمية لها فعاليات حيوية والمواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي والتي تجهز هذه الانسجة تستعمل بصورة رئيسية في تكوين البروتينات والاحماض النووية . كما أن التغذية بعنصر النتروجين تلعب دورا مهما وتسيطر بشكل كبير على معدل نمو النبات خلال مرحلة النمو الخضري وتطوره . أن المعدل العالي لنمو النبات يمكن أن يتحقق فقط عندما تتوفر كميات كافية من النتروجين الجاهز . كما يتضح ذلك من الجدول (4-1) .

جدول (4-1) : تأثير التجهيز بالنتروجين على الحاصل والمركبات العضوية لنبات الجاودار (Lolium perenne) الحديثة التكوين (Hehl and Mengel, 1972)

	النتروجين المجهز (غم N / اصيص)	
	0.5 غم N / اصيص	2.0 غم N / اصيص
الحاصل (غم مادة جافة / اصيص)	14.9	26.0
البروتين الخام (٪ مادة جافة)	12.3	26.4
السكروز (٪ مادة جافة)	7.7	6.3
فركتوزان معقد Polyfructosans (٪ مادة جافة)	10.0	1.0
النشاء (٪ مادة جافة)	6.1	1.4
السيليلوز (٪ مادة جافة)	14.4	17.6

يتضح من الجدول زيادة الحاصل وكذلك زيادة البروتين الخام (Crude protein) بزيادة التجهيز بعنصر النتروجين في حين حدث تجمع للنشاء والفركتوزان المعقد Polyfructosans وعندما تكون التغذية بالنتروجين غير كافية فأن دورة حياة النبات تقصر ويحدث نضج مبكر للنبات الامر الذي يؤدي الى قلة الحاصل ورداءة نوعيته وبمعنى اخر خفض الحاصل الاقتصادي أو التجاري .

1.3.1.4 محاصيل الحبوب :

يعتمد محصول الحبوب على ثلاثة مكونات رئيسية وهي عدد السنابل أو العرانيص بالدونم وعدد الحبوب فيها وعلى وزن الف حبة . اشار العديد من الباحثين بأن التجهيز بالعناصر الغذائية يؤثر بدرجة كبيرة على مكونات حاصل الحبوب فقد اوضح (Forster, 1973) بأن عدم انتظام التغذية بالبوتاسيوم خلال مرحلة تكوين التفرعات يقلل من عدد السنابل كما يقلل من عدد الحبوب في السنبلة الواحدة لمحصولي الحنطة والشوفان . إن عدد الحبوب المنتجة بالسنبلة الواحدة يتأثر ايضا بالعوامل المناخية كالضوء ودرجة الحرارة .

ومما تجدر الاشارة اليه أن حجم الحبوب (وزن الف حبة) والذي يسيطر عليه وراثيا يتأثر كذلك بالعوامل المناخية التي تؤثر في عملية ملء الحبوب خلال مرحلة النضج . أن التجهيز بالماء يلعب دورا رئيسيا في تكون الحبوب . فقد لاحظ (Brevedan and Hodges, 1973) في تجربة أجريت على محصول الذرة الصفراء بأن نقص الماء له تأثير كبير في انتقال المواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي مقارنة بتأثيره على عملية التركيب الضوئي ذاتها . كما لوحظ أن نقص الماء يحفز تكون حامض الابسيسك وتحلل منظم النمو السايتوكاينين (Cytokinin) .

وحيث أن حامض الابسيسك يسرع من عملية النضج والسايتوكاينين يؤخره فأن نقص الماء يقصر من فترتي النضج وملء الحبوب وهذا بدوره يؤدي الى صغر حجم الحبوب وبالتالي خفض حاصل الحبوب وتقليل جودتها . أن المعدل العالي لملء الحبوب يمكن الحصول عليه بالتغذية العالية من النتروجين وكذلك عند توفر المستوى الملائم من البوتاسيوم (Mengel and Haeder, 1974) . والنباتات المجهزة بصورة جيدة بالنتروجين يتأخر فيها هرم الورقة اللوائية والتي ثبت بأنها هي التي تجهز المواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي لملء الحبوب (Evan and Rawson, 1970) . حيث وجد أنها تجهز 70-80% من المواد المالئة للحبوب والتي كان مصدرها عملية التركيب الضوئي أما الجزء الباقي من المواد المتمثلة التي

تملأ الحبوب يكون مصدرها سنابل الحبوب نفسها . كما وجد أن للبوتاسيوم تأثير مشابه علاوة على أنه يعمل على زيادة معدل تمثيل ثاني أوكسيد الكربون (1970, Watanabe and Yoshida) .

أن حاصل الرز يمكن أن يحسن فقط بزيادة حجم الحبوب وهذه حالة مغايرة مقارنة بمحاصيل الحبوب الاخرى كالحنطة .

كما أن معدل النمو بعد الازهار ايضا له تأثير على حاصل الحبوب لنبات الرز واذا كانت فترة النضج قصيرة وهذا يحدث عندما يعاني النبات من نقص النتروجين فأن حاصل الحبوب يقل . أما بعد الازهار فالرز بصورة خاصة يحتاج الى كميات كبيرة من النتروجين والبوتاسيوم ولذلك فأنه للحصول على انتاجية عالية فأنه يجب أضافة دفعة متأخرة من سماد النتروجين والبوتاسيوم .
ويذكر أن في الفصول الرطبة فان شدة الضوء الواطئة تكون هي العامل المحدد في اغلب الاحيان لحاصل الرز حيث أن مثل هذه الظروف تؤدي الى قلة عدد العناقيد (Panicles) بوحدة المساحة .

2.3.1.4 ـ المحاصيل الجذرية

إن فسلجة الحاصل للمحاصيل الجذرية تختلف عن فلسجة الحاصل بالنسبة لمحاصيل الحبوب حيث أنه في المحاصيل الجذرية تحصل منافسة وتزاحم على الكاربوهيدرات وخاصة في فترة ملء الانسجة الخازنة . في البطاطا والـ الدرنية المشابهة فإن مكونات الحاصل هي عدد النباتات بالدونم وعدد الدر للنبات الواحد وحجم الدرنة . وإن بداية تكوين اجزاء النبات الحديثة يحتاج الى مستوى معين من الكاربوهيدرات في النسيج النباتي فاذا كان المستوى منخفض كحدوث نمو خضري كبير فأن تكون الاجزاء الحديثة سوف يتأخر . أما في اكثر انواع النباتات فأن التغذية بالنتروجين تقلل من تجميع الكاربوهيدرات نتيجة لزيادة النمو الخضري . فقد لاحظ (1971, Krauss and Marschner) أن البطاطا المجهزة بصورة جيدة بالنتروجين خلال مرحلة تكوين الدرنات حصل تناقص في عدد الدرنات في النبات الواحد . إن نمو الدرنة يرتبط ارتباطا وثيقة بالكاربوهيدرات المجهزة وهي بدورها تتوقف على شدة تمثيل ثاني اوكسيد الكربون من قبل اجزاء النبات الهوائية وكذلك على معدل انتقال المواد الناتجة من هذه العملية من الاوراق الى الدرنات . ومعدل تمثيل CO_2 يعتمد على مساحة الورقة في النبات ومساحة الورقة تعتمد على نشوء النبات خلال فترة النمو الخضري (مر

الانبات وحتى الازهار) . كما أن كفاءة الاوراق في تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيمياوية بشكل ($ATP, NADPH_2$) التي يحتاج اليها في تمثيل المواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي تتوقف على مستويات التغذية الجيدة بالبوتاسيوم والفسفور (Watanabe and Yoshida 1970) . واذا أريد أن يكون حاصل الدرنات عاليا فأنه من الضروري الحصول على اقصى معدل لتمثيل ثاني اوكسيد الكربون خلال مرحلة ملء الدرنات .

كما أن عملية ملء الدرنات لا تتوقف فقط على كفاءة عملية التركيب الضوئي بل تعتمد كذلك على الكفاءة التي يتم بها انتقال نواتج عملية التمثيل نفسها .

ومما تجدر الاشارة اليه أن التغذية بالنتروجين تلعب هنا دورا مغايرا في المحاصيل الجذرية مقارنة بمحاصيل الحبوب حيث أن التغذية بالنتروجين بعد الازهار تعمل على تحفيز النمو الخضري وتكوين الاوراق الحديثة وهذا بلاشك يكون على حساب ملء الدرنات (Krauss and Marschner 1971) . وقد أشار الباحثان الى أن معدل نمو الدرنات قد قل بزيادة مستويات التغذية بالنترات (7 مليمكافيء / لتر) . غير انهما قد اوضحا الى ضرورة الاهتمام بالسماد النتروجيني خلال مراحل النمو الاولى للمحاصيل الجذرية من اجل تكوين نمو خضري جيد ولأجل رفع كفاءة التركيب الضوئي ولكن بعد الازهار يجب أن يقلل التجهيز بالنتروجين حيث أن هذه المرحلة تتصف بتكوين الكاربوهيدرات وانتقالها الى الدرنات .

هذا وأن البنجر السكري يختلف عن البطاطا في فسلجة الحاصل بدرجة كبيرة حيث أنه محصول ثنائي الحول وله دورة سبات بين فترة النمو الخضري ومرحلة الإنتاج من الجذور في حين أن نبات البطاطا هو محصول حولي . ويقوم محصول البنجر السكري بتجميع الكاربوهيدرات في الانسجة الخازنة وأن الحاصل الاقتصادي يتوقف على عدد النباتات بوحدة المساحة وحجم الجذور ومحتواها من السكر . كما أن حجم الجذور يعتمد بدرجة كبيرة على العناصر الغذائية وكذلك على المستوى الرطوبي خلال المراحل الاولى لنمو المحصول ، كما أن نمو الاوراق وزيادة عددها ومساحتها خلال هذه الفترة للنبات الواحد يكون أساسياً للحصول على جذور ممتلئة ذات حجم كبير . إن نمو الأوراق الجيد سواء من ناحية عددها أو مساحتها للنبات الواحد يعتمد بصورة كبيرة على مستويات التغذية بالنتروجين خلال المراحل الاولى من نمو النبات . أما في مراحل النمو الأخيرة للنبات فيجب أن تقلل كميات النتروجين المضافة للنبات والا أدى ذلك الى دفع نموه مجدداً لتكوين نموات جديدة

والتي ستكون على حساب ملء الجذور . وقد لاحظ (1970 Forster) زيا
حاصل السكر لنبات البنجر السكري بحوالي 30% كما أوضح الباحث نفسه أنه
مرحلة نمو البنجر السكري الأخيرة فأن عملية التركيب الضوئي وانتقال نواتجها
الجذور أساسية لزيادة حاصل السكر وليس لنمو الاوراق فقط . وهناك نتائج مما
توصل اليها (1974 Bronner) .

أما محصول قصب السكر يختلف بصورة كاملة عن محصول البنجر السكري
أن هناك تشابهاً كبيراً من حيث الحاصل الاقتصادي حيث يزداد الحا
الاقتصادي اذا ما توفرت الظروف الملائمة في الاسابيع الاخيرة قبل الحصاد لتكو
وخزن السكر وليس للنمو الخضري ، حيث تلعب هنا التغذية المعدنية وخا
بعنصري النتروجين والبوتاسيوم دوراً أساسياً كما في حالة محصول البنجر السكري

3.3.1.4 ـ محاصيل الثمار :

إن انتاج محصول العنب والاشجار المثمرة الاخرى يتصف كذلك بفترة تك
وانتقال وملء والتي تبدأ عادة بعد الازهار مباشرة . فقد بين (69 Koblét
أن موقع الورقة في العنب ذو أهمية في عملية الملء . ولهذا السبب فإن ز
مساحة الاوراق المجاورة للعنقود وزيادة كفاءتها في عملية التركيب الضوئي تـ
ضرورية وتؤثر معنوياً على زيادة وزن العنقود بالاضافة الى زيادة محتوى الـ
ومن المعلوم أن كفاءة التركيب الضوئي للاوراق لا تعتمد على شدة الضوء والحر
بل أنها تتأثر كذلك بالتغذية المعدنية . فقد وجد أن اضافة السماد النتروجيني
شجرة العنب بعد الازهار والذي يطيل فترة بقاء الاوراق خضراء قد أدى
زيادة نشاطها في عملية التركيب الضوئي والذي انعكس ايجابياً على عملية ا
نفسها إن السكروز مع كميات قليلة من الفركتوز والكلوكوز والاحماض العض
هي أهم المواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي والتي تنتقل من الاوراق
العناقيد . وقد بين (1964 Kliewer) في تجاربه على العنب (**tis vinifera**
أن تكوين السكر والاحماض العضوية يعتمد بدرجة كبيرة على درجة الحرارة و
أن تكون الاحماض العضوية يزداد بانخفاض درجات الحرارة في حين
السكريات تتحفز كثيراً تحت الظروف الدافئة . إن فسلجة ثمار اشجار الفـ
كالتفاح والخوخ والاجاص والعرموط والمشمش والحمضيات تشبه الى حد
فسلجة العنب . والعامل المهم في حاصل الثمار هو عدد الثمار وحجمها للشـ
الواحدة .

ومما لاشك فيه أن تكون الثمرة يعود الى نشاط منظمات النمو ولكن من المحتمل أن تكون للتغذية النباتية تأثير في ذلك .

لقد بين (1967 Khan and sagar) في تجاربها على محصول الطماطة بأن الاوراق (أي عددها ومساحتها) تعتبر الجهز الرئيسي الذي يزود المواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي في ملء الثمار وهذا يعني أن التغذية المعدنية وخاصة اضافة دفعة متأخرة من السماد النتروجيني مع البوتاسيوم تكون ذات أهمية لنبات الطماطة . وقد أيدها في ذلك (1973 Forster) والذي أشار بأن عملية ملء الثمار وعدد الثمار تعتمد على التجهيز الجيد بالعناصر الغذائية وخاصة بعنصري النتروجين والبوتاسيوم .

4.3.1.4 ـ محاصيل العلف الاخضر والخضروات الورقية وثيل الحدائق :

كما ذكر سابقا إن المحصول الاقتصادي لهذه الحاصيل هو الاجزاء الهوائية النامية فوق سطح التربة ولذلك فإن العناية بالاسمدة النتروجينية لهذه الحاصيل تعتبر على درجة كبيرة من الأهمية لدورها المعروف في زيادة النموات الخضرية والتي تؤكل مباشرة من قبل حيوانات الحقل او الانسان كالجت والبرسيم او الخس واللهانة .

وفي حالة ثيل الحدائق فينصح بعد قص الثيل اضافة كمية ملائمة من السماد النتروجيني ورشه بالماء او ريه بعد الاضافة مباشرة وهذا ينطبق ايضا بالنسبة للكرفس والمعدنوس والرشاد وكافة الحاصيل الورقية التي يؤخذ حشات منها اثناء فترة حياتها .

2.4 ـ التغذية واستجابة الحاصل

تلعب التغذية المعدنية الى جانب عوامل النمو الاخرى والتي سبق ذكرها في بداية هذا الفصل دورا مهما في تكوين مادة النبات .

وان المواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي يمكن ان تستهلك في النمو الخضري وفي تكوين المواد المخزونة وفي عملية التنفس . كما ان اتجاهها الى هذه المستقبلات الثلاثة السالفة الذكر يعتمد على العمر الفسيولوجي للنبات (1969, Warren-Wilson) . ففي حالة البادرات الحديثة يقدر بان حوالي 50% من مواد عملية التركيب الضوئي تستعمل للنمو . بينما في النباتات الناضجة فإن الجزء الاكبر من المواد المتمثلة يستعمل في عملية الخزن لملء البذور او الثمار .

اما (Evans and Rawson, 1970) فقد وجدا ان اكثر من 80% من م
عملية التركيب الضوئي المنتقلة الى الحبوب خلال فترة ملء الحبوب للحنطة
استعملت في تكوين المركبات العضوية والمواد المتبقية استعملت في التنفس . ونة
الحالة قد وجدت في حالة الثمار عندما اشار (Haeder and Mengel, 1972)
ثمار الطماطة قد استهلكت ما يقرب من 30% من مواد عملية التركيب الضوئي
عملية التنفس .

3.4 ـ العلاقات الكمية بين التغذية والحاصل :

ان الهدف من عملية التسميد او عملية اضافة المغذيات للنبات هو الحصول ء
اعلى حاصل اقتصادي واحسن نوعية وبأقل التكاليف وذلك عن طريق زي
كفاءة عملية التسميد بأختيار نوع السماد المناسب لنبات معين وفي تربة مع
واضافة هذا السماد في الموعد المناسب وبالكمية الملائمة والطريقة المناسبة المستخد
لاضافته والذي من شأنه ان يحقق اعلى استفادة (اي افضل استجابة من النب
لهذا السماد) .

لقد حاول كثير من الباحثين ايجاد معادلة رياضية تعبر كمياً عن العلاقة
الحاصل والتغذية النباتية ولقد كان العالم الالماني ليبيك (stus Von Liebig,
1855) رائدا في هذا المجال ووضع القانون والذي مازال يحمل اسمه هو قا
العامل المحدد (Law of the Limiting Factor) ولو أن (Sprengel, 939
قد اقترحه من قبل . ويفهم من هذا القانون ان العنصر الغذائي الموجود في الة
او وسط نمو النبات وباقل كمية بالنسبة لحاجة النبات منه مقارنة بالعنا
الغذائية الاخرى يكون هو العامل المحدد للانتاج . غير ان هذا القانون قد ة
بطريقة خاطئة عند صدوره عندما اشار ليبيك ان اضافة أي كمية من العن
المحدد يزيد الانتاج بنسبة مطردة ثابتة وان اضافة اي عنصر غذائي اخر لن يك
له اي تأثير في زيادة الحاصل حتى يزيد مقدار العنصر المحدد عن الكميات
كان موجودا عليها اصلا في التربة أو في وسط نمو النبات .

وطبقا لهذا الرأي يكون التغير في الحاصل (y) في تناسب ثابت مع التغير
العنصر الغذائي المحدد (x) للانتاجية اي ان :

$$\frac{dy}{dx} = K$$

حيث

dy = التغير في الحاصل نتيجة اضافة العامل المحدد

، dx التغير في كمية العامل المحدد

، k = مقدار ثابت

وبالتكامل نحصل على المعادلة الاتية :

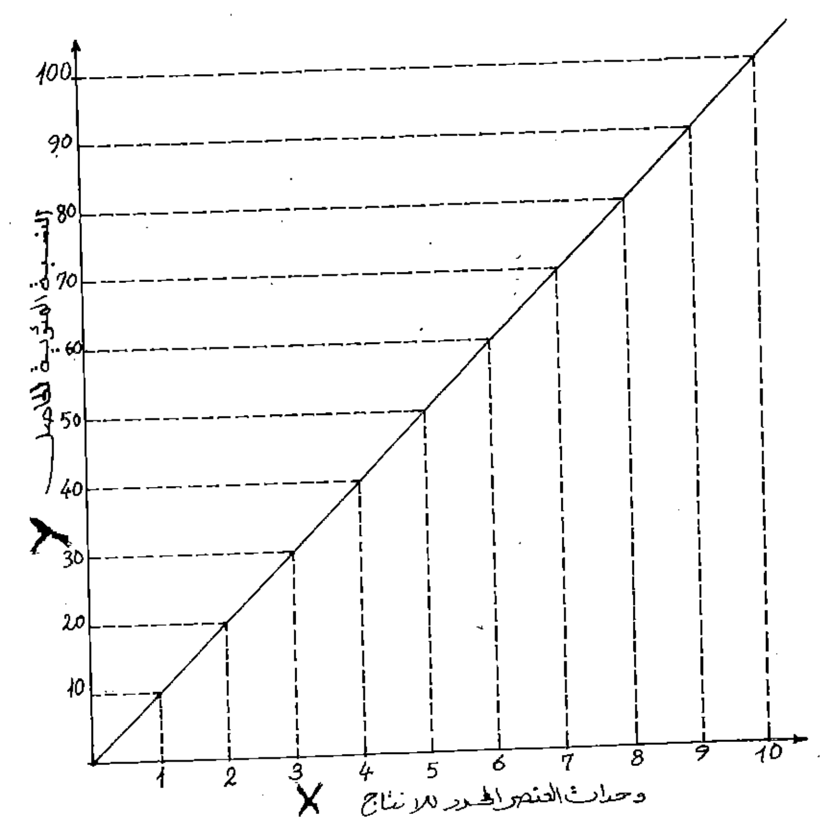
$$y = Kx + C$$

حيث y = الحاصل

، x = العامل المحدد

، K, C = ثوابت

وهذه هي معادلة الخط المستقيم . ومعنى ذلك انه اذا وضعنا مقادير الحاصل (y) على المحور الصادى ومقادير العنصر المختبر (x) على المحور السيني فأننا نحصل على رسم بياني يمثل الخط المستقيم كما في الشكل (4-2) .



شكل (4-2) يبين العلاقة بين الحاصل ووحدات العنصر المحدد .

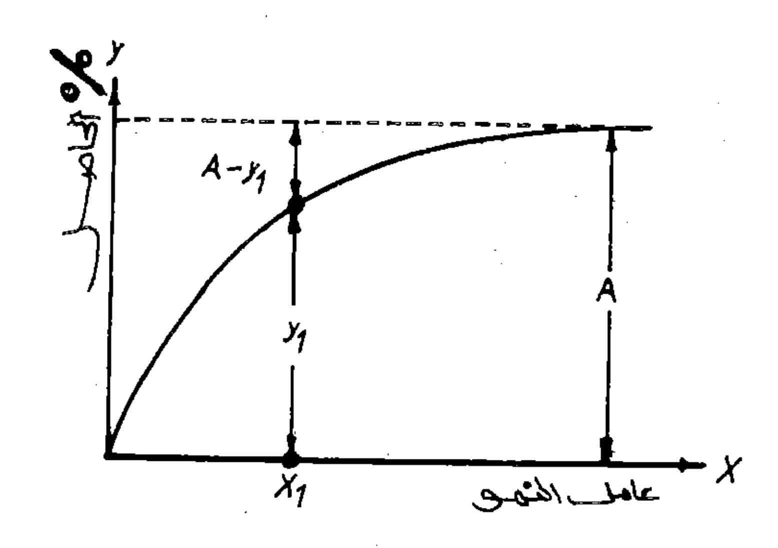
محور عن : (Mengel and Kirbky, 1982

ويتضح من قانون ليبك وطبقا لمعادلة الخط المستقيم انه اذا كان عنص البوتاسيوم هو العنصر المحدد للانتاج فانه باضافة الوحدة الاولى من هذا العنص (x) فانه يعطينا وحدة انتاج مقدارها (y) وباضافة وحدة اخرى من عنص البوتاسيوم مساوية في كميتها للوحدة الاولى اي (x) فاننا نحصل على وحدة اخر من الانتاج مساوية في كميتها لما انتجته الوحدة الاولى من البوتاسيوم اي (وحدة انتاج اخرى وهكذا بتوالي اضافة وحدات اخرى من البوتاسيوم (العنص المحدد للانتاج فاننا نستمر في الحصول على وحدات اخرى جديدة من الانتا وبنفس الكفاءة او الاستجابة لما انتجته الوحدة الاولى من العنصر المحدد وبعبا اخرى لو اعطتنا الوحدة الاولى من العنصر المحدد للانتاج حاصلا مقداره (5) ك فإن الوحدة الثانية ايضا تعطي حاصلاً مقداره (5) كغم والوحدة الثالثة ايضا (كغم وهكذا . وبطبيعة الحال هذا غير معقول وفسر في حينه من قبل ليبي بطريقة خاطئة . والاقتراح الاخر من قبل ليبيك بان اضافة عوامل الان الاخرى اذا ما أضيفت مع العنصر المحدد لا يكون لها اي تأثير في زيادة الحا الا بعد زيادة العامل المحدد الى مستوى معين وقد عدل هذا الاقتراح من (Liebscher, 1895) عندما ذكر ان تأثير العامل المحدد على الانتاج يتوقف التواجد المثالي لعوامل النمو الاخرى ، بمعنى ان تأثير العامل المحدد على الا قد يزيد او قد يقل وهذا يعتمد على مدى وجود وملاءمة العوامل الاخرى المؤ على نمو النبات .

ثم جاء (Wollny, 1897) والذي تركزت دراساته بالدرجة الاساس عوامل المناخ مثل الضوء ودرجة الحرارة والماء وكذلك اهتم بالخواص الفيز للتربة مثل عمق الحراثة ، نسجة التربة وتركيبها .. الخ . والذي وضع الق المسمى بقانون الحدود المثلى (Law of optimum) والذي يفهم انه باضافة ال المحدد فإن الحاصل يزداد من الحدود الدنيا وحتى يصل الى الحد المثالي وبعد يقل الحاصل بزيادة اضافة العامل المحدد للانتاج .

وعندما أختبر العالم الالماني (1909 Mitscherlich) هذه العلاقة على ن الشوفان وذلك بأضافة اربعة مستويات من الفسفور على اعتبار انه كان ال المحدد للانتاج مع تثبيت بقية العوامل الاخرى وعندما قام برسم خط بياني لل بين الحاصل ومستويات الفسفور المضافة حصل على منحنى وليس على خط . وأقترح قانوناً جديداً والذي مايزال مقروناً بأسم متشرلش وهو قانون المتناقصة (Law of the diminishing returns) حيث لاحظ متشرلش

أعلى زيادة في الحاصل كانت من أضافة المستوى الاول من الفسفور وبأضافة وحدات متزايدة من العامل المحدد تقل نسبة الزيادة في الحاصل ولقد درس متشرلش هذه العلاقة في تجارب حقلية وفي تجارب البيوت الزجاجية بأستخدام الأصص وأستنتج بأن زيادة الحاصل الناتجة من أضافة وحدة واحدة من عامل النمو كانت تتناسب مع كمية الحاصل المراد الحصول عليه للوصول الى الحاصل الاعظم . كما يتضح ذلك من الشكلين (4-3) و (4-4) .



شكل (4-3) زيادة الحاصل (y) نتيجة زيادة عامل النمو (x) و A هو الحاصل الأعظم

عن : (**Mengel and Kirbky 1982**)

حيث y = الناتج الحاصل من اضافة عامل النمو

، x = عامل النمو المحدد

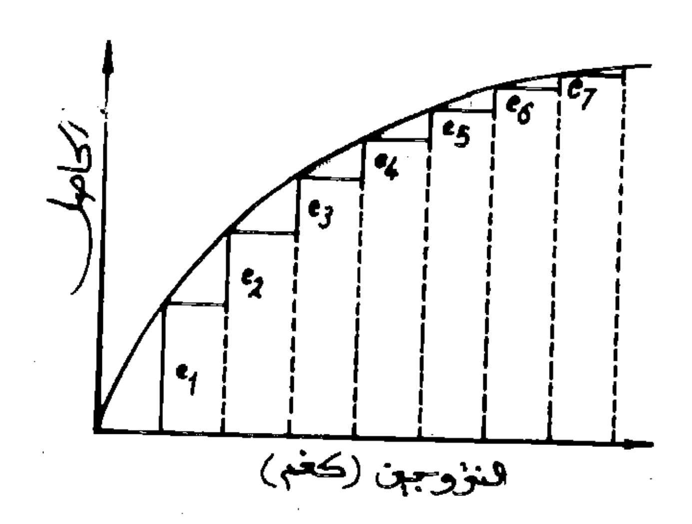
، A = الحاصل الاعظم

، $A-y_1$ = كمية الحاصل الناتجة من اضافة العامل المحدد للوصول الى الحاصل الاعظم .

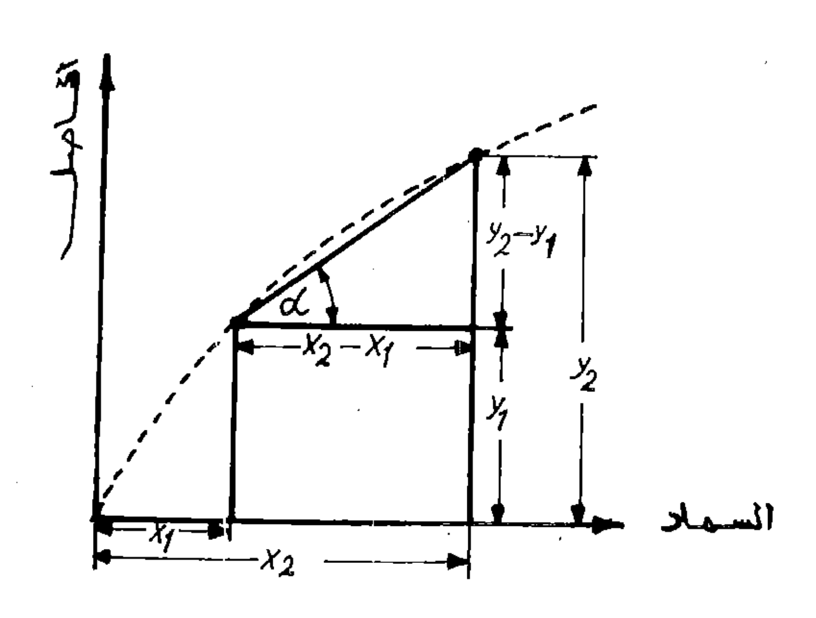
ان الزيادة الناتجة من اضافة الوحدة الثانية من العنصر الغذائي المدروس يكون اقل من الزيادة الناتجة من اضافة الوحدة الاولى والزيادة الناتجة من اضافة الوحدة الثالثة أقل بدورها من الزيادة الناتجة من اضافة الوحدة الثانية ، وهكذا تقل الزيادة الناتجة في الحاصل بتوالي اضافة الوحدات المتتالية من العامل المحدد للانتاج وقد عبر متشرلش عن هذه العلاقة رياضياً كالاتي : —

$$\text{Tangent} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{dy}{dx}$$

وذلك كما يتضح من الشكل التالي : ـ



شكل (4-4) منحنى الاستجابة يوضح تناقص نسبة الزيادة في الحاصل باضافة الكميات المتزايدة من النتروجين
عن : (Mengel and Kirbky, 1982)



شكل (4-5) يبين ظل الزاوية كدالة للحاصل والسماد
عن : (Mengel and Kirbky, 1982)

$$\text{حيث ان ظل الزاوية} = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}}$$

وحيث ان x_2-x_1 , y_2-y_1 هي التغير او الزيادة في الحاصل وفي وحدات السماد المضاف على التوالي اي ان $\frac{y_2 - y_1}{x_2-x_1}$ هي معدل التغير في y على x

$$\frac{y_2-y_1}{x_2-x_1} = \frac{dy}{dx}$$

اي ان

$$\text{Tangent} = \frac{y_2-y_1}{x_1-x_1} = \frac{dy}{dx} \quad (1)$$

وحيث ان Tangent تعني زيادة نقطة المماس وكذلك الارتفاع في الحاصل عند نقطة ما فهذا يعني ان

$$\text{Tangent} = K\ (A-y) \quad (2)$$

حيث ان Tangent الزيادة في الحاصل وهي في نفس الوقت عبارة عن ظل الزاوية

، A = الحاصل الاعظم

، y = الحاصل الناتج من اضافة السماد

، $A-y$ = كمية الحاصل التي يقل فيها الانتاج عن الحاصل الاعظم والتي يمكن التعبير عنها بطريقة اخرى وهي كمية الحاصل المطلوبة للوصول الى الحاصل الإعظم او هي كمية الحاصل التي يقل فيها الحاصل المنتج فعلاً عن الحاصل الاعظم .

، K = مقدار ثابت

بالتعويض من (2) في (1)

$$\frac{dy}{dx} = K\ (A-y) \quad (3)$$

ويتضح من المعادلة (3) انه كلما زاد المقدار الثابت K كلما زاد الحاصل وكلما زدنا اقتراباً من الحاصل الاعظم (A) . وبأجراء عملية التكامل على المعادلة (3) نحصل على المعادلة الآتية : $\log(A-y)=Kx+C$ (4) وكلما زادت (x) كمية السماد المضافة كلما قل المقدار (A–y) وهنا تصبح (Kx) قيمة سالبة

$$\text{Log}\ (A-y) = C-K\ x \quad (5)$$

حيث C هنا يمثل ثابت التكامل والتي تضم كل الثوابت ماعدا K .

واذا كانت قيمة x تساوي صفرا فإن y ايضا تساوي صفرا وفي هذه الحالة تصبح المعادلة (5) كالآتي :

$$\text{Log}\ (A\text{–Zero}) = C\text{–zero}$$

اي ان $\text{Log}\ A = C$ (6)

وبالتعويض عن قيمة C بـ (Log A) في المعادلة (5) نحصل على المعادلة الاتية : –

$$\log\ (A - Y) = \log A - KX \quad (7)$$

إن ثابت التكامل C يتناسب في هذه الحالة مع K

وذكر ان $C = K.\ 0.434$

هذا ويمكن تحويل الصورة اللوغارتمية الى الصورة الاسية كالآتي : –

$$\text{Log}\ (A - y) = \text{Log}\ A - Cx$$

أي أن

$$\text{Log}\ (A - y) - \text{Log}\ A = - Cx$$

$$\therefore \quad \text{Log}\ \left(\frac{A - y}{A}\right) = - Cx$$

$$\therefore \quad \frac{A - y}{A} = 10^{-Cx}$$

$$\therefore \quad A - y = A.\ 10^{-Cx}$$

$$\therefore \quad -y = - A + A.\ 10^{-Cx}$$

$$\therefore \quad y = A - A.\ 10^{-Cx}$$

اي أن $y = A\ (1 - 10^{-Cx})$ (8)

وهذه هي الصورة المبسطة لمعادلة متشرلش .

اقترح متشرلش فيما بعد ما سماه بقانون العلاقات الفسيولوجية والذي ينص على أن الحاصل يتوقف على جميع عوامل النمو كلها بمعنى ان اضافة أحد عوامل النمو الذي يوجد بمستو غير محدد يزيد الحاصل بعكس ما كان يراه ليبيك من ان العنصر المحدد فقط هو الذي يؤثر ويؤدي الى زيادة الحاصل باضافته ويضيف متشرلش ان كل عامل يزداد أثره في زيادة الحاصل كلما قلت كميته ، ويفسر زيادة الحاصل باضافة العنصر غير المحدد بأن النبات في هذه الحالة يحتوي نسبة منخفضة نوعاً ما من العنصر المحدد وان اضافة العنصر غير المحدد يرفع كفاءة النبات للأستفادة بدرجة أكبر من العنصر المحدد .

والرأي الآخر لمتشرلش وباول هو النسبة المئوية للكفاية (Percentage sufficiency concept) ويقتضى هذا الرأي فإن كمية معينة من عنصر ما تكون كافية لانتاج نسبة معينة من المحصول الذي يمكن انتاجه عندما يكون هذا العنصر موجودا بوفرة بغض النظر عن وزن المحصول الناتج . وتطبيقاً لهذا الرأي أيضاً انه اذا كان الفسفور موجوداً بكمية تكفي لأنتاج 90% من المحصول الاعظم عند توفر جميع عوامل النمو وكان البوتاسيوم في نفس الوقت موجوداً بكمية تكفي لانتاج 80% من المحصول الاعظم فإن المحصول الذي يمكن الحصول عليه في مثل هذه الحالة هو :

$$\%72 = 100 \times \frac{80}{100} \times \frac{90}{100}$$

وهذا يختلف عن قانون ليبيك الذي يعطي 90% ، 80% من الحاصل الاعظم لكل من الفسفور والبوتاسيوم على التوالي .

كما اقترح باول انه اذا كان الناتج الاعظم 100% . وان اضافة مقدار من عامل النمو ينتج 50% من المحصول الاعظم فان اضافة مقدار آخر مساوٍ للمقدار الاول فانها تعطي نصف الفرق بين المحصول الاعظم والمحصول السابق أي :

$$\%25 = \frac{50}{2} = \frac{50 - 100}{2}$$

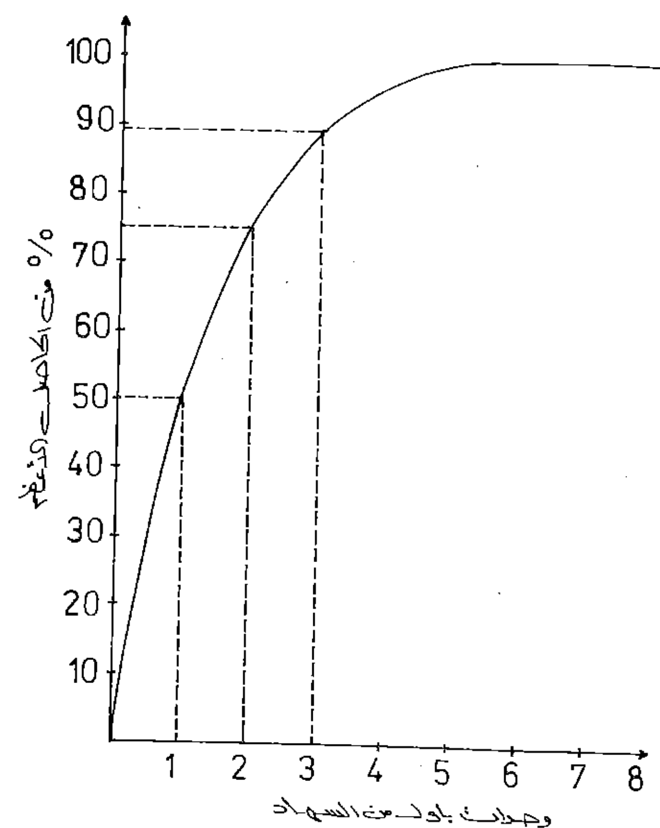
وبالتالي يكون الحاصل الناتج من الوحدتين معاً هو 50 + 25 = 75% من المحصول الاعظم .

ويعطي المقدار الثالث ايضاً نصف الفرق بين المحصول الاعظم والمحصول السابق الناتج من الوحدتين أي

$$\%12.5 = \frac{25}{2} = \frac{75 - 100}{2}$$

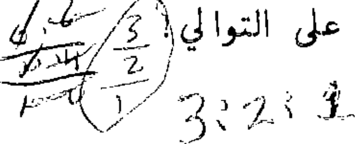
ويكون المحصول الناتج من الوحدات الثلاث هو
50 + 25 + 12.5 = 87.5% من المحصول الاعظم وهكذا . وبعبارة اخرى فان الوحدة الثانية من العنصر المضاف تعطي 50% من الكمية التي تعطيها الوحدة الاولى وان الوحدة الثالثة تعطي ايضاً 50% من كمية حاصل الوحدة الثانية وهكذا . فلو فرض ان الزيادة في الحاصل الناتجة عن اضافة الوحدة الاولى هي 10 كغم فان الزيادة في الحاصل عن الوحدة الثانية هي 5 كغم ومن الوحدة الثالثة هي 2.5 كغم والرابعة 1.25 كغم وهكذا .

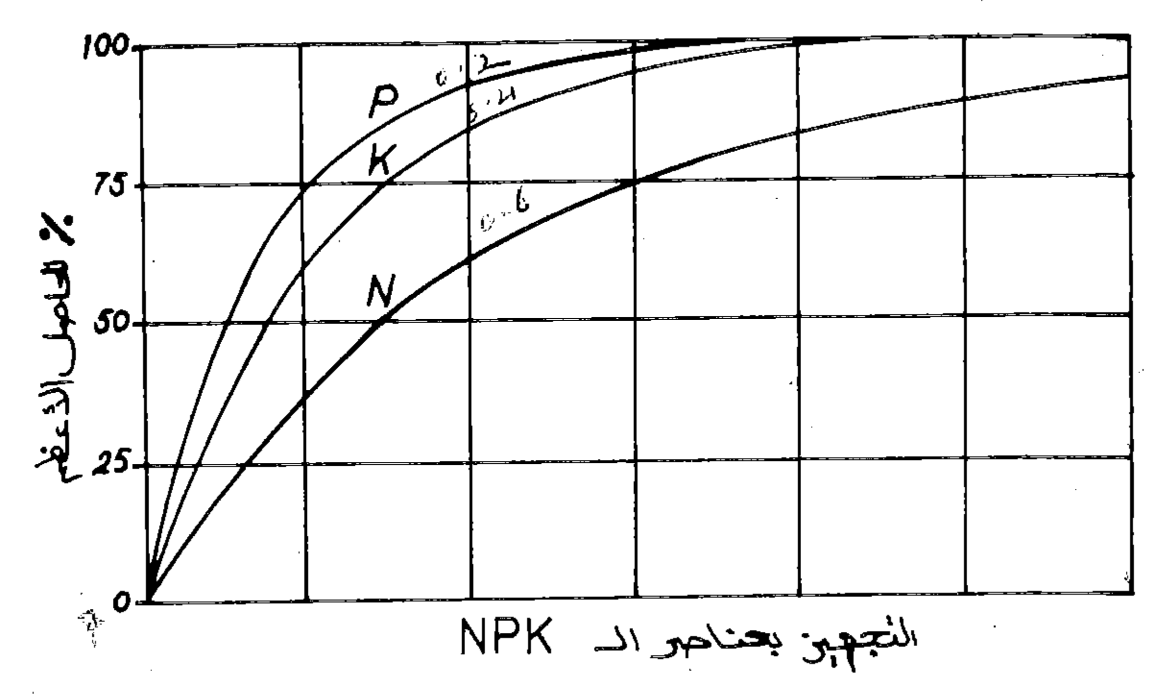
وقد عرف باول كمية العنصر او عامل النمو التي يحتاجها النبات ليعطي 50% من المحصول الاعظم بدليل الاستفادة (Efficiency index) وتعرف هذه الوحدات الآن بوحدات باول (Baule units) . كما يتضح ذلك من الشكل (4-6) .



شكل (4-6) الاستجابة لوحدات باول من السماد معبراً عنها بنسبة مئوية من الحاصل الاعظم . عن : (بلبع ، عبدالمنعم ، 1973) .

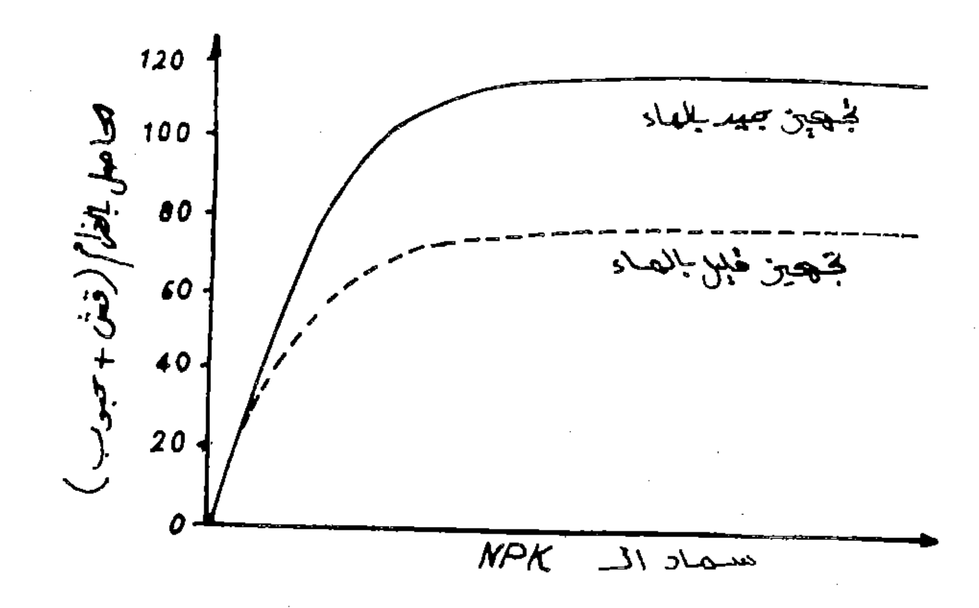
وأهم الاعتراضات التي وجهت الى معادلة مشرلش هو ان قيمة الثابت (C) في المعادلة ليست ثابتة في حين ان مشرلش كان يرى انها تظل ثابتة بالنسبة لعنصر ما وانها لا تتغير بتغير التربة او النبات او المناخ او غيرها من عوامل النمو واطلق عليها معامل الاستفادة (Efficiency coefficient) . ولقد وضع الباحثون هذه النقطة موضع الاختبار والدراسة فوجدوا ان قيمة (C) غير ثابتة وانها تتغير بتغير العنصر المدروس كما انها عرضة للتغير بتغير الظروف المحيطة للنبات او بتغير عوامل النمو الاخرى كما يتضح ذلك من الشكلين اللاحقين (4-8) , (4-9) هذا ووجد ان وحدات الثابت (C) لكل من (N,K,P) هي (0.2 , 0.4 and 0.6) على التوالي



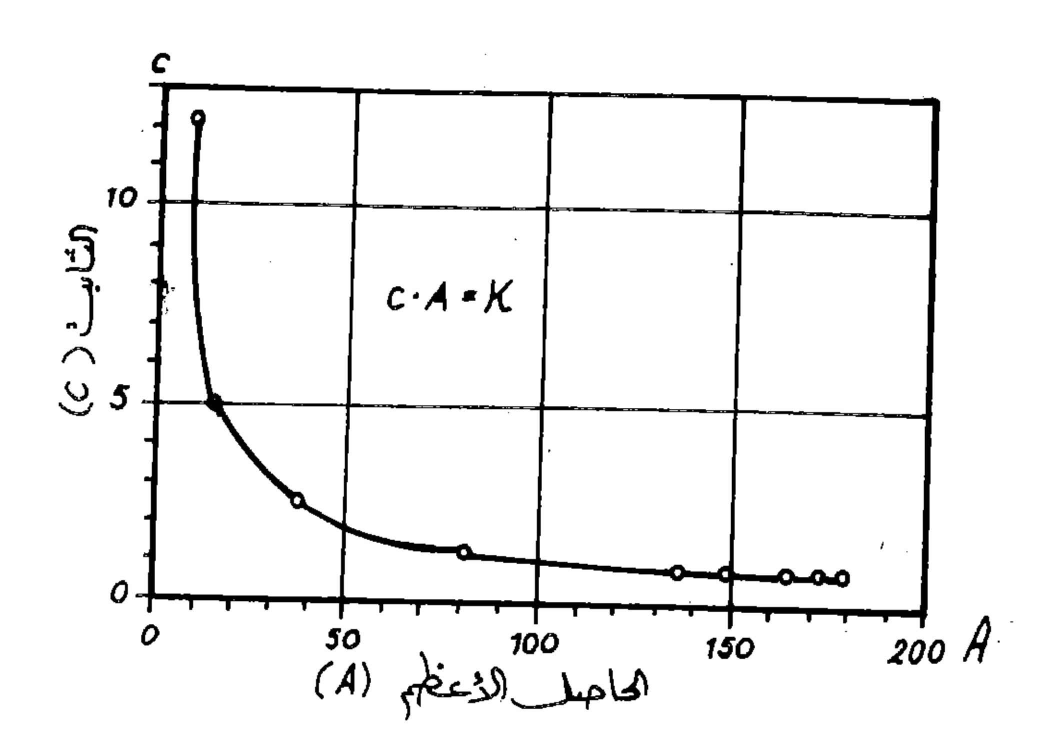


شكل (4-7) يبين منحني الحاصل لـ N ، P , K عن : (Boguslawski, 1956) .

كما وجد ان (C) تختلف ايضاً تبعاً لكيفية تغيير عوامل الانتاج بعضها لبعض وكذلك فانها تختلف حسب النباتات وبالنسبة للنبات الواحد تختلف باختلاف العضو النباتي . فمثلاً انها تختلف بالنسبة للنبات الواحد حسب كمية مياه الري المعطاة كما يتضح ذلك من الشكل (4-8) .



شكل (4-8) يبين تغير الحاصل بتغير كمية الري .
عن : (Boguslawski, 1954)



شكل (4-9) توضيح للعلاقة بين قيمة الثابت (C) والحاصل الاعظم (A) .
عن : (Boguslawski, 1954)

ويلخص (Boguslawski 1954) ان قيمة الثابت (C) يمكن ان تتغير طبقاً للعوامل الآتية : ـ

1) نوع النبات .
2) للنبات الواحد باختلاف العضو النباتي .
3) حسب العنصر الغذائي المضاف .
4) الحاصل الاعظم (حيث انه يختلف باختلاف الاصناف حتى للنوع الواحد) .
5) كمية مياه الري المستخدمة او حسب كمية الامطار .
6) كيفية خلط او نسب عوامل الانتاج الى بعضها البعض .

4.4 ـ التغذية المعدنية ونوعية الحاصل

1.4.4 فكرة عامة

النوعية تشمل كل الصفات الجيدة والمرغوبة والتي يزرع من اجلها النبات . والنوعية ليس من السهل تعريفها او قياسها حيث ان كثيراً من صفات النوعية مثل الطعم او المذاق والرائحة والصلابة او الطراوة او سهولة وصعوبة الهضم وغيرها من الامور والتي من الصعب في كثير من الاحيان قياسها او التعبير عنها كما ان التعامل معها يكون من الصعوبة بمكان عندما يكون الهدف من استعمال التغذية المعدنية هو تحسين النوعية ولكن من المعتاد غالباً ان يركز على قدرة النبات او مدى كفاءته واستجابته لتكوين المركبات العضوية المختلفة . كما ان النوعية تختلف حسب الغرض الذي يزرع من اجله النبات . فمثلاً الشعير المزروع لغرض البيرة تختلف نوعيته عن الشعير المزروع لغرض العلف للحيوانات حيث ان شعير البيرة يجب الاّ تزيد فيه نسبة البروتين عن 7% لانه لو زادت عن ذلك فيكون على حساب نسبة الكاربوهيدرات وهذا مما يقلل المستخلص الناجم من ناحية ومن ناحية اخرى تقل كفاءته لعملية التخمر ولهذا فان كثير من شركات صناعة البيرة ترفض استلام الشعير المزروع لغرض البيرة اذا زادت فيه نسبة البروتين عن 7% كما سبق وان أشرنا الى ذلك في حين ان الشعير المخصص لعلف الحيوانات يستحسن ان تزداد نسبة البروتين فيه لتحسين نوعية العلف ولضمان نمو الحيوانات المغذاة عليه بسرعة للتعجيل في سرعة بيعها في الاسواق وكسب فارق الاسعار .

وبالمثل فان الكتان المزروع لغرض الحصول على اليافه يختلف في نوعيته عن الكتان المزروع لغرض الحصول على الزيت منه، ففي الاول يهمنا زيادة عدد السيقان وقوتها وبمعنى آخر فان الكثافة النباتية مطلوبة ولا يهمنا حاصل البذور وبالعكس بالنسبة للكتان المزروع لغرض الزيت فلا تهمنا السيقان بل يهمنا حاصل البذور .

م/ ١٠ دليل تغذية النبات

كما ان البطاطا المخصصة لصناعة النشاء تختلف عن نوعية البطاطا المخص
لغذاء الانسان وهكذا .

علاوة على ماتقدم فنود ان نشير في هذا المجال الى الدور المهم الذي تلعبه التـ
المعدنية في حالة عدم ملاءمتها سواء بالزيادة او النقصان والى ما يمكن ان تـ
من تشوهات بسبب نقصها او السمية بها سواء على شكل او مظهر او
الحاصلات الزراعية .

وعلى هذا الاساس فإننا سنركز على العلاقات الاساسية بين التغذية و
المركبات العضوية في النبات وكذلك ما تحدثه التغذية من تشوهات على مـ
الحبوب وعلى الثمار او الحاصيل الجذرية والدزنات .

ويذكر أن العوامل الوراثية تلعب دوراً هاماً في تحديد النوعية ، كما ان
ومستوى التغذية النباتية ونوعية المغذيات ووقت اضافتها تلعب دوراً هاماً .بلا
إن محتوى الكاربوهيدرات في الانسجة الخازنة كالحبوب والثمار وا
والدرنات يعود الى نشاط عملية التركيب الضوئي وكذلك الى معدل انتقال
هذه العملية الى الاجزاء الخازنة .

لقد وجد ان كلا من الفسفور والبوتاسيوم يحفز عملية التركيب الضوئي
يحفزان انتقال نواتجها من الاوراق الى الاجزاء الخازنة .

هذه النظرة هي نظرة فسيولوجية بحتة والتي توضح ان كلا من
والبوتاسيوم او كليها معاً يؤديان الى زيادة محتوى الانسجة الخاز
الكاربوهيدرات . كما وجد ان النحاس يمنع من الهدم المبكر للكلوروفيل
فهو يزيد من عمر النبات ويرفع من كفاءة النبات في زيادة عملية التركيب
وزيادة نواتجها .

2.4.4 ـ الحاصيل الجذرية والدرنية

إن وجود المستوى الملائم من البوتاسيوم يحفز تمثيل ثاني اوكسيد
كما يحفز انتقال الكاربوهيدرات من الاوراق الى درنات البطاطة وهـ
المحتوى العالي من النشاء في درنات البطاطا المجهزة بشكل جيد با
(Lachover and Arnon 1966) . هذا التأثير يعتمد ايضاً على ...

البوتاسي المستعمل فمثلاً كلوريد البوتاسيوم يعطي محتوى واطيء من النشاء مقارنة بسماد كبريتات البوتاسيوم وهذا ربما يعود الى التأثير السلبي للكلوريد في انتقال الكاربوهيدرات من الاوراق الى الدرنات . ففي تجربة طويلة الامد قام بها (Terman 1950) حيث اضاف 800 كغم K_2O / للهكتار من سمادي كلوريد وكبريتات البوتاسيوم ولم يلاحظ فرقاً جوهرياً في الحاصل ولكن لوحظت فروقات واضحة في النسبة المئوية للنشاء في الدرنات كما هو مبين في الجدول (4-2) .

جدول **(4-2)** تأثير كلوريد البوتاسيوم وكبريتات البوتاسيوم في حاصل درنات البطاطا ومحتواها من النشاء **(Terman, 1950)** .

المعاملـــة	حاصل الدرنات طن/ هكتار	النشاء ٪
KCl	2.81	13.3
K_2SO_4	2.82	14.6
$K_2SO_4\ \frac{1}{2} + KCl\ \frac{1}{2}$	2.86	13.8

ان نوعية درنات البطاطا لاتتوقف فقط على نسبة النشاء في الدرنة التي تستعمل في انتاج النشاء بل يجب ان يكون هناك نسبة عالية من الاسترة بين الفوسفات ومجموعة الهيدروكسيل العائدة للنشاء حيث وجدت علاقة عالية بين النشاء ذو الدرجة العالية من الاسترة وبين اللزوجة العالية ولونها الناصع البياض . ولاحظ كل من (Gorlitz, 1966) و (Effmert, 1967) بان الفسفور لا يزيد من محتوي النشاء في الدرنات فحسب بل ايضاً يحسن من نوعية النشاء .

ان ظاهرة الاسوداد (Blackening) في درنات البطاطا المستخدمة في غذاء الانسان تقل باضافة السماد البوتاسي (Mulder, 1956) . كما وجد ان حساسية درنات البطاطا للضرر نتيجة الحصاد الميكانيكي والنقل تقل باضافة السماد الفوسفاتي (Patzold and Dambroth, 1964 .

اما نوعية البنجر السكري فتعتمد بدرجة رئيسية على محتوى السكر ووجد ان المركبات الامينية الذائبة والعناصر المعدنية وخاصة البوتاسيوم والصوديوم تعرقل عملية البلمرة (polymerization) للسكريات خلال عملية التكرير والتنقية

للسكريات وبذلك تؤثر في السكر الناتج . ومما تجدر الاشارة اليه ان زيادة التغذية بالبوتاسيوم الى الحد غير الملائم سيؤدي الى زيادة نسبة البوتاسيوم في الجذور ويكون له في هذه الحالة نتائج سلبية حيث يؤدي الى تقليل نسبة السكر (Von Boguslawski and Schildbach, 1969) . والتغذية بالنتروجين سواء من ناحية الكمية او من ناحية موعد الاضافة تلعب دوراً مهماً للمحاصيل التي تعتمد في حاصلها الاقتصادي على الكاربوهيدرات ومكوناتها كالسكر او النشاء . ففي المراحل الاولى من نمو النبات فهو ضروري للحصول على حاصل جيد غير ان الكميات الزائدة منه خاصة في المراحل الاخيرة من النمو فانه يحفز نمو الاوراق ويكون ذلك على حساب عملية ملء الدرنات او الجذور . فقد لاحظ كل من (1974, Bronner) , (1968, Winner) ان كثرة اضافة السماد النتروجيني او زيادة الدفعة الاخيرة منه أدت الى تقليل السكر في محصول البنجر السكري كما أدت الى زيادة تركيز المركبات الامينية والعناصر المعدنية وهذا ينتج بسبب ان الانسجة تظل في مرحلة عدم النضج (Juvenile stage) كما اشار الى ذلك ايضاً (Forster, 1970) .

كما ان نوعية البنجر السكري لاتعتمد فقط على التغذية المعدنية بل انها تتأثر كذلك بالعوامل المناخية حيث وجد ان اعلى حاصل واحسن نوعية تكون عندما تتواجد شدة اضاءة عالية خلال الاسابيع الاخيرة من نمو النبات مع كمية مناسبة من الماء (Von Boguslawski and Schildbach, 1969) . ولاحظ ان الاملاح تؤدي الى نوعية رديئة حيث تقل نسبة السكر وهنا تكون نسبة المركبات الامينية الذائبة وكذلك العناصر المعدنية عالية مما يقلل من عملية البلمرة للسكر وانخفاض نسبة السكر المستخلصة كما سبق وان اشرنا الى ذلك .

كما وجد ان نقص البورون يؤدي الى ظهور القشور على درنات البطاطا كما انه يؤدي الى تعفن جذور البنجر السكري (Crown rot-and Brown heart disease).

3.4.4 ــ محاصيل الحبوب

يعتبر النتروجين ضرورياً للحصول على حاصل عال ذو نوعية جيدة ويعتبر الكلوتين (Glutelin) اهم المركبات التي تحدد نوعية الحبوب المخصصة لعملية العجين (خبز وكيك ومعجنات) وهذه المادة موجودة في بروتين الحبوب المتواجد في القشرة الداخلية في الحبوب وهذه البروتينات هي كليادين (Gliadin) وكلوتيلين (Glutelin) .

اما اضافة البوتاسيوم فتكون ضرورية لاستفادة النبات من الدفعة الاخيرة من السماد النتروجيني ولتحسين نوعية الحبوب اي زيادة نسبة البروتين فيها (Schafer and Siebold, 1972), (Primost, 1968) . ان نوعية البروتين الخاص كغذاء للانسان والحيوان وتقدر بالمحتوى من البروتين الخام (Crude protein) وكذلك بالمحتوى من الاحماض الامينية الاساسية (Essential amino acids) وهذه الاحماض الامينية الاساسية لا يستطيع الانسان او الحيوان من تكوينها في جسمه لان النبات وحده يستطيع تكوينها ولذلك يجب ان تضاف الى الغذاء المقدم للانسان والحيوان وهذه الاحماض الاساسية والضرورية هي Arginine Valine, Lysine, Leucine, Isoleucine, Methionine, Threreonine, phenylalanine, Tryptophane, Histidine, كما تبين ان هناك علاقة وثيقة بين محتوى البروتين في الحبوب ومحتوى الفيتامينات من مجموعة فيتامين (Vitamin B-Complex) B والتي هي Thiamine ($Vi_t. B_1$) Nicotinic acid, Riboflavin ($Vit. B_2$), . حيث وجد ان اضافة الدفعة الاخيرة من النتروجين تحفز زيادة محتوى مجموعة فيتامينات (B) المركبة في الحبوب. وزيادة نسبة البروتين تضعف نوعية الشعير المخصص لصناعة البيرة (في عملية التخمر) ولذلك تفضل الاصناف ذات المحتوى الواطىء من البروتين والغنية بالكاربوهيدرات. في حين ان الفسفور والبوتاسيوم يؤدي الى حبوب غنية بالكاربوهيدرات اي جيدة التخمر (Schildbach, 1972) .

كما ان الكميات الزائدة من النتروجين تؤدي الى زيادة النمو الخضري وتزيد عملية الاضطجاع (الرقاد) (Lodging) وقد يؤدي الى تقليل الحاصل ورداءة نوعيته والى قلة نسبة الكربوهيدرات فتكون الحبوب صغيرة وضامرة ونقصان عدد الحبوب في السنبلة الواحدة .

4.4.4 ـ الحاصيل الزيتية :

لقد وجد (Schmalfuss 1963) أن زيادة مستوى التغذية بالنتروجين تزيد المحتوى من البروتين وتقلل نسبة الزيت . والتأثير الايجابي للمستويات المنخفضة من النتروجين في زيادة نسبة الزيت قد يرجع الى الهدم المبكر للاوراق مما يقلل من فرصة ملء البذور خلال مرحلة نضج البذور وهذا يعني قلة محتوى الكاربوهيدرات او البروتين وبالتالي زيادة نسبة الزيت .

أما البوتاسيوم والفسفور فضروريان لزيادة نسبة الزيت حيث يرفعا من كفاءة عملية التركيب الضوئي والتي تنعكس ايجابياً على زيادة نسبة الزيت .

كما أن عنصري الكالسيوم والبورون ضروريان لاتمام عملية الاخصاب والتلقيح والحصول على حاصل جيد من البذور .

5.4.4 ـ محاصيل العلف

إن نوعية محاصيل العلف (الحشائش ، الجت ، البرسيم) تتوقف على درجة الهضم والتي تعتمد على نسب السيليلوز ، الهيميسليلوز واللكنين وزيادة هذه المكونات مع نقص نسبة البروتين الخام تؤدي الى تقليل جودتها للتغذية الحيوانية . والعناية بالسماد النتروجيني تزيد من البروتين الخام الضروري لنمو الحيوانات وانتاج الحليب والبيض والصوف .... الخ .

كما أن انتاج الحليب يحتاج الى كميات لا بأس بها من عناصر الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم . يعتبر (1 ملغم 100/Mg مل من مصل الدم) هو الحد الحرج من المغنيسيوم وإلا أدى ذلك الى اصابة الحيوانات بمرض الكزاز (Grass tetany) .

كما وجد أن السمية بالمولبدنم تسبب نقص عنصر النحاس مما يسبب مرضاً يطلق عليه (Molybdenosis) أو (Teart) والذي يتميز باسهال شديد وضعف الحيوانات وخفض انتاجيتها من الحليب وتكون الحيوانات مترنحة نتيجة لضعف الدم حيث أن نقص النحاس يمنع دخول الحديد في تكوين هيموكلوبين الدم .

6.4.4 ـ محاصيل الخضر واشجار الفاكهة المثمرة

بالنسبة لمحاصيل الخضر الورقية مثل الخس والكرفس واللهانة والمعدنوس تلعب التغذية بالنتروجين دوراً مهماً لعلاقة النتروجين في تحفيز زيادة النموات الخضرية . كما أن النتروجين مهماً كما سبق في تكوين فيتامينات مجموعة (B) . وكذلك لعلاقة النتروجين المباشرة في تكوين الاحماض الامينية الاساسية والتي يعتمد كل من الانسان والحيوان على النباتات في الحصول عليها لعدم القدرة على تكوينها في اجسامها .

وبالنسبة لعلاقة التغذية بالفيتامينات فإن عناصر البوتاسيوم والنحاس والمنغنيز والبورون والزنك والمولبدنم لها دور مهم في زيادة فيتامين (C) .

وبما تجدر الاشارة اليه أن نقص التغذية المعدنية او السمية بها او عدم التوازن الغذائي المعدني يقود الى اضرار كبيرة في حاصل ونوعية ثمار اشجار الفاكهة ويؤدي الى حدوث تشوهات في الشكل واللون وكذلك في الطعم لتأثيرها المباشر في تكوين المركبات العضوية المختلفة . فعلى سبيل المثال أن نقص النتروجين في الحمضيات يقلل من عدد الثمار ويجعلها صغيرة الحجم سميكة القشرة ومنتفخة وهذه ايضاً اعراض واضحة في حالة نقص عناصر الكبريت والزنك والفسفور . أما نقص البوتاسيوم فيؤدي الى تقليل نسبة السكر وزيادة نسبة الاحماض العضوية وهذا هو الحال عليه ايضاً في حالة النقص بعنصري الفسفور والبورون لعلاقتها المباشرة في عملية نقل السكريات من الاوراق الى الثمار الخازنة لها لتكوينها استرات مع مجاميع الهيدروكسيل العائدة للسكريات وتسهيل عملية نقلها بهذه الطريقة . والسمية بالنتروجين تؤدي الى تلون الثمار بلون غير طبيعي حيث تظل المنطقة القريبة من ثمرة الطماطة محتفظة بلونها الاخضر كما وجد ايضاً أن ثمرة البرتقال تكون مبقعة باللون الاخضر كما لوحظ تشقق وتمزق ثمار التفاح في حالة السمية بالنتروجين .

كما لوحظ أن الثمار التي كانت اشجارها تعاني من نقص عنصر البوتاسيوم تكون عرضة للتعفن أسرع من الثمار السليمة اثناء خزنها او نقلها وكما لوحظ جفاف حبات العنب (الزبيب) .

والثمار التي تعاني من النقص بعنصر الفسفور تكون ايضاً عرضة للتمزق كما في حالة ثمار الخوخ .

أما نقص المنغنيز فيسبب تشقق وتمزق ثمار الخوخ ويؤدي نقصه كذلك الى تشوه ثمار الموز حيث تكون قليلة العدد وقصيرة ونهايتها عليها نتوءات كثيفة وخضراء وكذلك الى ظهور ظاهرة الـ (Marsh spot) في بذور البقوليات كالفاصوليا وفستق الحقل والى تشوه الجزر حيث يخرج من الجزرة الواحدة عدة جذور تشبه التوائم وتكون مغطاة بشعيرات جذرية كثيفة تقلل من نوعيتها .

كما ان نقص النحاس يؤدي الى ظهور التصمغ على ثمار الحمضيات في مرض الاكزانثيا (Exanthema) والمعروف في كاليفورنيا بمرض (Ammoniation) او الموت التراجعي (Dieback) .

علاوة على ذلك فإن نقص النحاس يؤدي الى طراوة رؤوس البصل وتعرضها للتعفن كما هو الحال بنقص البوتاسيوم .

اما نقص الزنك فبالاضافة الى تأثيره في زيادة سمك غلاف ثمرة البرتقال وقلة عددها وصغر حجمها فانه يؤدي كذلك الى تشوه ثمار المشمش والاجاص والعرموط حيث تصبح بيضاوية الشكل وبالنسبة لثمار الافوكادو تصبح دائرية فاقدة شكلها الاصلي الذي يشبه ثمار العرموط . كما ان نقص الزنك يؤدي الى تشوه عناقيد العنب حيث يلاحظ صغر حجم العنقود مع وجود حبات صغيرة على العنقود او عدم تكونها مطلقاً ويجب عدم الخلط بين نقص النحاس وبين نقص البوتاسيوم والبورون حيث أنه في حالة نقص البوتاسيوم تكون الحبات جافة ومجعدة كالزبيب اما في حالة نقص البورون فتحدث حبات كبيرة جداً وحبات صغيرة جداً ايضاً وتسمى هذه الظاهرة (Hen and chicken disease) .

كما ان نقص البورون يؤدي الى ظهور تراكيب فلينية خارجية وداخلية على ثمار التفاح External and Internal cork of apples . وكذلك الى ظاهرة وجه القرد في ثمار الزيتون Monkey face كما يسبب في ظهور القشور على درنات البطاطا والى تمزق ثمار التفاح والرمان والبرتقال والطماطة والى ظاهرة نزيز العنب وهناك اشارات الى احتمال وجود علاقة بين ظاهرة المسامير في الرقي والبطيخ والنقص بعنصر البورون .

اما نقص الكالسيوم فيؤدي الى ظاهرة النقرة المرة في ثمار التفاح (Bitter pit) والى تعفن الطرف الزهري في ثمار الطماطة والفلفل والباذنجان (Blossom end rot) وهناك احتمال لوجود علاقة بين تعفن الطرف الزهري في البطيخ والنقص بعنصر الكالسيوم .

واخيراً وليس اخراً فإن نقص عناصر الفسفور والبورون والمولبدنم تؤدي الى تلون زهرة القرنابيط بلون ارجواني ولكن بطبيعة الحال يمكن التمييز بينها بالاعتماد على ظواهر معينة اخرى تظهر على النباتات وتكون مصاحبة لذلك .



امتصاص وانتقال العناصر الغذائية

1.5 ـ فكرة عامة

تمتص جذور النبات المواد العضوية والمعدنية . بصورة ايونية او غير ايونية غير ان معظم العناصر الغذائية والضرورية للنبات تمتص بشكل ايونات مثل النتروجين بصورتي الامونيوم (NH_4^+) والنترات (NO_3^-) والفسفور على صورة $H_2PO_4^-$ او HPO_4^{2-} والبوتاسيوم على هيئة K^+ والكالسيوم على شكل Ca^{2+} والكلور على صورة Cl^- .... الخ .

ان التعبير عن امتصاص العناصر الغذائية من الناحية الفسيولوجية هو تعبير غير دقيق حيث ان كل مادة توجد في داخل النبات يقال عنها انها قد امتصت . ولكن الطريق الذي تسلكه هذه المواد من الوسط الخارجي (محلول التربة) حتى تصل الى داخل خلايا النبات (السايتوبلازم والفجوة العصارية) يبقى مجهولاً . كما انها لا تحدد المكان الذي تقوم به هذه المواد بالوظائف الحيوية للنبات، ولا تبين العوائق التي تعترض سبيل هذه المواد والتي يجب ان تتخطاها اثناء امتصاصها وانتقالها من بيئتها الخارجية وحتى تصل الى داخل الخلايا . وكذلك لا تذكر في اي مكان توجد هذه المواد بصورة مؤقتة قبل انتقالها الى المكان الذي تقوم به فعلاً بوظائفها الحيوية .

ولفهم عملية امتصاص ايونات العناصر الغذائية وانتقالها يستحسن مراجعة تركيب الخلية النباتية والمقاطع الطولية والعرضية لتركيب الجذر والساق والاوراق وملاحظة تركيب الاغشية الخلوية كغشاء البلازما وغشاء الفجوة والبلاستيدة الخضراء والمايتوكوندريا .... الخ للتعرف على الحواجز

للتعـرف علـى الحواجز او العوائق التي تعترض عملية دخول هذه الايونات من البيئة الخارجية حتى تصل الى السايتوبلازم والفجوة العصارية . والمعروف ان الخلية النباتية محاطة بجدار خلوي خارجي يوجد بداخله السايتوبلازم بالاضافة الى العديد من الفجوات العصارية الصغيرة والتي ما تلبث ان تكون فجوة عصارية مركزية عند نضج الخلية النباتية . والسايتوبلازم يوجد في طور مائي حاوياً على العديد من العضيات (Organella) الصغيرة المتخصصة في مختلف الوظائف الحيوية مثل الرايبوزوم (مكان تخليق البروتين) والمايتوكوندريا (مكان حدوث عملية التنفس الهوائي) والبلاستيدة الخضراء (مكان حدوث عملية التركيب الضوئي) والنواة المحتوية بالدرجة الاولى على الحامض النووي (DNA) الناقل للصفات الوراثية وهذه العضيات محاطة بأغشية (Membranes) كما ان السايتوبلازم نفسه محاط بغشاء خارجي ملاصق لجدار الخلية هو غشاء البلازما (Plasalemma) وغشاء داخلي يفصله عن الفجوة العصارية هو غشاء الفجوة (Tonoplast) وتحتوي الفجوة العصارية على العديد من المواد العضوية ذات الوزن الجزيئي الصغير مثل السكريات والاحماض الامينية وبعض الانزيمات الضرورية لحياة النبات علاوة على احتوائها على ايونات العناصر الغذائية .

ومن هذا التركيب يتضح لنا ان امتصاص ايونات العناصر المعدنية من محلول التربة حتى الفجوة العصارية لابد ان يخترق أولا الجدار الخلوي ثم غشاء البلازما ثم السايتوبلازم واخيرا غشاء الفجوة لخلايا الجذور ومن ثم يجب ان تنتقل بدورها الى خلايا الساق والاوراق لكي تدخل في العمليات الحيوية الضرورية لحياة النبات .

2.5 ـ الفراغ الحر او الفراغ الخارجي

Free Space or Outer Space

لقد بينت الدراسات وابحاث العاملين في مجال تغذية النبات ان انتقال جزيئات الماء وايونات العناصر المعدنية عبر الجدار الخلوي للجذر (البشرة والقشرة) من محلول التربة بعملية الانتشار (Diffusion) لا يواجه مقاومة تذكر حيث ان الجدار الخلوي يحتوي على مسامات تسمح لجزيئات الماء والايونات من المرور خلالها بحرية وقد اطلق على هذا الجزء من الجذر والسهل المنال (ذلك الجزء الذي تتحرك خلاله جزيئات الماء والايونات بحرية تامة وبدون أية مقاومة) بأسم الفراغ الحر (Free space) او الفراغ الخارجي (Outer space) وهذا الفراغ الحر يمثل حوالي 10% من حجم خلايا الجذر اما الفراغ الداخلي والذي يقارب 90% من حجم الخلايا (Inner apace) فهو يمثل ذلك الجزء والذي يواجه فيه مرور جزيئات الماء والايونات صعوبة بعملية الانتشار .

والفرضيات والنظريات التي تتناول امتصاص الايونات المعدنية في الفراغ الحر تكون خاصة بالامتصاص الحر او السلبي (Passive absorption) أو غير النشط لانه غير مرتبط ببذل طاقة من قبل النبات في حين ان ذلك الذي يتعلق بالجزء الآخر والذي يواجه صعوبة اثناء مروره فيعرف بالامتصاص النشط او الفعال او الحيوي (Active absorption) والذي يرتبط ببذل طاقة من قبل النبات الحي .

ولقد وضع ابشتاين (1955 Epstein) معادلة عامة لحساب الفراغ الحر كالآتي :

$$\text{الفراغ الحر} = \frac{\text{الايونات المنتشرة (ميكرومول / غم)}}{\text{تركيز المحلول الخارجي (ميكرومول / سم}^3\text{)}}$$

$$= \frac{\text{ميكرومول}}{\text{غم}} \div \frac{\text{ميكرومول}}{\text{سم}^3}$$

$$= \frac{\text{ميكرومول}}{\text{غم}} \times \frac{\text{سم}^3}{\text{ميكرومول}} = \frac{\text{سم}^3}{\text{غم}} = \text{سم}^3 / \text{غم}$$

والدراسات قد دلت على ان الفراغ الحر لكثير من النباتات يتراوح من 0.1 الى 0.15 سم^3 / غم من الوزن الطري للجذور .

كما بينت التجارب ان الفراغ الحر يشمل المسامات البينية والجدران الخلوية لخلايا البشرة (Epidermis) والقشرة (Cortex) وحتى طبقة القشرة الداخلية (Endodermis) حيث يمثل شريط كاسبار (Casparian strip) الواقع فيها مباشرة الحد الفاصل للفراغ الحر .

كما أوضحت الدراسات التي قام بها العديد من الباحثين ان جدار الخلية النباتية وكذلك غشاء البلازما يحمل شحنة سالبة شأنه في ذلك شأن غرويات التربة (الطين والدبال) والتي ترجع الى مجاميع الكاربوكسيل التي تعود الى حامض البكتيك في الجدار وكذلك الى مجاميع الفوسفات التي ترجع الى الفوسفاتيدات في الغشاء . وعليه فإن هذه المجاميع السالبة الشحنة تقوم بجذب الكاتيونات اليها ومنعها من الخروج ثانية الى محلول التربة الخارجي في حين أنها تتنافر مع الانيونات (السالبة الشحنة)

وتطردها الى خارج الخلية وعلى ذلك فان توزيعا جديدا يطرأ على الايونات الداخلة الى الخلية والخارجة الى الوسط الخارجي وقد اطلق على هذا التوزيع بتوزيع دونان كما اطلق على هذا الجزء من الفراغ الحر والذي يمثل جزءا محدودا او ضيقا من الفراغ الحر باسم فراغ دونان الحر (Donnan free space) وهو يمثل 2% من حجم الجذر الكلي اي حوالي 20% من حجم الفراغ الحر .

كما ان الكاتيونات الملتصقة على سطح الجدار الخلوي قابلة للتبادل مع الكاتيونات الاخرى الموجودة في محلول التربة الخارجي وعلى هذا الاساس فان لجذور النباتات سعة تبادل كاتيوني خاصة بها وان هذه السعة تتوقف على نوع النبات فهي عالية للنباتات البقولية ومنخفضة للنباتات النجيلية جدول (5-1) كما انها تختلف في النبات الواحد على حسب عمره فهي عالية للنباتات الحديثة العمر وواطئة للنباتات المتقدمة في السن كما أنها تختلف حسب الـ pH لمحلول التربة والـ pH للمحلول الداخلي للنبات .

جدول (5-1) سعة التبادل الكاتيوني عن (Mengel 1968) .

النبات	سعة التبادل الكاتيوني (مليمكافيء / 100 غم مادة جافة)
الحنطة	23
الذرة الصفراء	29
الباقلاء	54
الطماطة	62

ومما تجدر الاشارة اليه ان الانتشار او الامتصاص التبادلي خلال الجدار الخلوي او عليه وكذلك توزيع دونان في الفراغ الحر لا يمثل عملية الامتصاص الحقيقية حيث لا يؤثر مباشرة في دخول الايونات الى السايتوبلازم ومنه الى الفجوة العصارية .

كما ان حجم الفراغ الحر يظل ثابتا وتكون الايونات في انتقال معاكس بمعنى ان الايونات تدخل من محلول التربة الى الفراغ الحر وكذلك تخرج من الفراغ الحر الى محلول التربة الخارجي .

كما ان دخول الايونات من محلول التربة الى الفراغ الحر يكون غير اختياري بمعنى ان النبات لا يميز في امتصاص الايونات الموجودة في وسط النمو الخارجي ويستمر دخول الايونات الحرة في محلول التربة الى داخل الفراغ الحر بواسطة عملية الانتشار الى ان يصبح التركيز في محلول التربة مساويا للتركيز في الفراغ الحر .

إن انتشار جزيئات الماء والايونات الى الفراغ الحر وكذلك الامدصاص التبادلي هو مايعبر عنه بالامتصاص الحر او الامتصاص السلبي غير الحيوي . أما عملية دخول جزيئات الماء والايونات عبر غشاء البلازما والسايتوبلازم وغشاء الفجوة ومنها الى الفجوة العصارية هو ما يعبر عنه بالامتصاص النشط او الفعال او الامتصاص الحيوي حيث ان عملية اختراق واجتياز هذه الحواجز لا تكون بسهولة وتحتاج الى بذل طاقة من قبل النبات الحي .

ولقد اوضح (Epstein 1972) ان عملية الانتشار خلال الفراغ الحر او الفراغ الخارجي تحدث في النسيج الميت والنسيج الحي معا وهذا دليل آخر على ان الانتشار خلال الفراغ الحر غير حيوي او غير مرتبط ببذل طاقة من قبل النبات الحي والا بماذا يفسر حدوثها في النبات الميت غير القادر على صرف اية طاقة حيوية .

3.5 ـ الانتقال الحيوي والانتقال الحر

Active and passive transport

تخضع الايونات المتواجدة في المحلول الى قوتين احدهما ناتجة عن القوى المتسببة نتيجة التغير في الجهد او التركيز الكيمياوي (Chemical potenial) والاخرى تنتج من التغير في الجهد الكهربائي (Electrical potential) (Dainty 1962) . والايونات يمكن ان تتحرك بتأثير التغير في التركيز الكيمياوي حيث تنتقل الايونات من التركيز العالي الى التركيز المنخفض اما تحركها نتيجة للتغير بالجهد الكهربائي فهو انجذاب الكاتيونات الى الجهد الكهربائي السالب في حين انجذاب الانيونات الى الجهد الكهربائي الموجب . وعلى ذلك فان الايونات تتحرك تبعا للتغير في الجهد الكهروكيمياوي (Electrochemical potential gradient) .

وكما ذكر سابقا فان الخلايا الحية تكون مشحونة بشحنات سالبة مقارنة بالوسط الخارجي . لذلك فان انتشار او نفوذ الايونات من خلال غشاء البلازما وغشاء

الفجوة يجب ان يؤخذ بنظر الاعتبار كعلاقة بالجهد الكهربائي السائد وكذلك مع التغير في التركيز بين وسط المحلول الخارجي والمحلول الداخلي الذي هو السايتوبلازم . إن الانتشار الكاتيوني الميسر الذي شرح سابقا هو مثال نموذجي لتحرك الكاتيونات بفعل التغير الكيمياوي .

ومحصلة هذه العملية للسيطرة الداخلية على حركة الكاتيونات تنتهي بحصول حالة التوازن بين القوى الكهربائية وقوى الطاقة الحركية (الناتجة عن الاختلاف في التركيز بين الخارج والداخل) .

هذا التوازن قد شرح بواسطة معادلة Nernst فمثلا المحلول المائي لكلوريد البوتاسيوم (KCL) ينفصل بواسطة غشاء نفاذ لكل من K^+ و Cl^- ولنفرض ان الجهد الكهربائي خلال الغشاء هو E ، لذلك فإن التوازن لكل من K^+ , Cl^- يحصل عندما تكون تراكيز هذين الايونين في كل من جانبي الغشاء كافيا لتطبيق معادلة Nernst . الاتية :

$$\psi_i - \psi_o = E = \frac{RT}{Z.F} \ln \frac{[Ko^+]}{[Ki^+]} = \frac{RT}{Z.F} \ln \frac{Cl_i^-}{[Cl_O^-]}$$

حيث ψ_i = الشحنة الكهربائية للوسط الداخلي (السايتوبلازم)
، ψ_o = الشحنة الكهربائية للوسط الخارجي (المحلول المغذي)
، E = فرق الجهد الكهربائي
، R = ثابت الغازات (gas constant) ويساوي 1.987
، T = درجة الحرارة المطلقة (273 + درجة الحرارة المئوية في وسط النمو)
، F = ثابت فراداي (23000 كالوري/ فولت)
، Z = تكافؤ الايونات
، ln = اللوغاريتم الطبيعي ويساوي ($2.3 \ Log_{10}$)
، i , o تمثل المحلول الداخلي والخارجي (Inner and onter solution) والقيم بين الاقواس تمثل التراكيز وبصورة ادق نشاطات انواع الايونات في المعادلة . من هذه المعادلة يمكن القول عندما يكون $\frac{K_o^+}{K_i^+}$ اقل من الواحد فإن E تكون اقل من الصفر (الخلية مشحونة بشحنات سالبة) وهذا يعني تجمع لايون K^+ في المحلول الداخلي . كما يجب ان يكون $\frac{Cli^-}{Clo^-}$ اقل من واحد . وهذا يفهم منه ضمنيا بانه تحت ظروف التوازن فإن تركيز Cl^- في المحلول الخارجي يكون اعلى

من تركيزه في المحلول الداخلي . ومن هذا يتضح بان تركيز الكاتيون في السايتوبلازم يمكن ان يكون اعلى باضعاف من تركيزه في المحلول الخارجي بدون الحاجة الى انتقال الكاتيونات الى الاعلى (Uphill transport) وبمعنى اخر دون الحاجة الى بذل طاقة من قبل النبات في صورة الـ ATP . ومثال على ذلك الانتقال ضد الانحدار الكهروكيمياوي (electrochemical gradient) فلو فرض وكان تركيز K^+ للمحلول الداخلي هو 10 اضعاف تركيزه في المحلول الخارجي فإن لوغاريتم $\frac{K_o^+}{K_i^+} = - 1$

ويكون الفرق في الجهد الكهربائي المطابق لذلك هو -58 مليفولت (Dainty 1962,) . ويعتبر فرق الجهد الكهربائي مليفولت هي (-58) صغير في الخلايا الحية . هذا المثال يوضح بان K^+ وانواع اخرى من الكاتيونات ربما تجمعت الى حد ملحوظ في الخلية بالقوى الفيزياوية وليس بغيرها من القوى وهذا يعني ايضا ان الكاتيونات قد انتقلت في هذه الحالة بعملية الامتصاص الحر او غير الحيوي . ولكن عندما يكون التركيز في حالة اعلى من التركيز في ظروف التوازن عندئذ يحصل انتقال الى الاعلى (الانتقال ضد الانحدار الكهروكيمياوي) في المعنى الديناميكي الحراري (Thermodynamical) التام . والانتقال ضد الانحدار الكهروكيمياوي يسمى بالانتقال الحيوي (Active transport) في حين الانتقال الى الاسفل (Downhill) او في اتجاه الانحدار الكهروكيمياوي يسمى بالانتقال الحر او غير الحيوي (Passive transport) . ان الانتقال الحيوي يحتاج الى طاقة اضافية ولا يمكن ان يحدث بواسطة الطاقة الحركية الناتجة عن الفرق في التركيز للايون في المحلول الداخلي والخارجي او القوى الكهربائية فقط (Etherton and Higinbothan) , (1963, Etherton) .

ولغرض معرفة فيما اذا كانت الايونات قد انتقلت حيويا او بطريقة حرة من المحلول الخارجي الى الخلية فإن تراكيز الايونات في الوسط الخارجي وفي داخل الخلية يجب ان تقاس وكذلك الجهد الكهربائي (Em) بين الخلية والوسط الخارجي وهذا يمكن الحصول عليه باستعمال الاقطاب الكهربائية الدقيقة (Microelectrode) . وبتعويض التراكيز المقاسة في معادلة Nernst فانه يمكن حساب الفرق بالجهد الكهربائي (Ecal) المحسوبة . وبما ان Em توضح الجهد الكهربائي المقاس فلهذا فإن الفرق بين Em ، Ecal (اي Ed) تفسر فيما اذا كان الايون قد انتقل حيويا او سلبيا .

$$Em - Ecal = Ed$$

Ed هي القوى الناقلة للايونات .

فاذا كانت القيمة Ed سالبة اي ان القيمة المحسوبة اكبر من القيمة المقاسة فهذا يدل على الامتصاص السلبي غير الحيوي للكاتيونات وعلى العكس فالقيمة الموجبة لـ Ed اي ان القيمة المحسوبة اقل من القيمة المقاسة فهذا يدل على الامتصاص الحيوي للكاتيونات .

والعكس صحيح تماما بالنسبة للانيونات فالقيمة الموجبة الـ Ed يدل على الانتقال غير الحيوي للانيونات والقيمة السالبة لـ Ed يدل على الانتقال الحيوي للانيونات . ويجب ان يبقى في الذاكرة بان مثل هذا القياس لمعرفة فيما اذا كان الامتصاص حيويا او غير حيوي للايونات يكون صحيحا فقط عندما تكون ظروف التوازن محافظ عليها في النظام . ومثل هذه الحالة صعبة المنال ولا يمكن الحصول عليها في دراسات النبات ككل حيث ان قمم النبات تكون كمستقبل (Sink) قوى للايونات الممتصة من قبل الجذور .

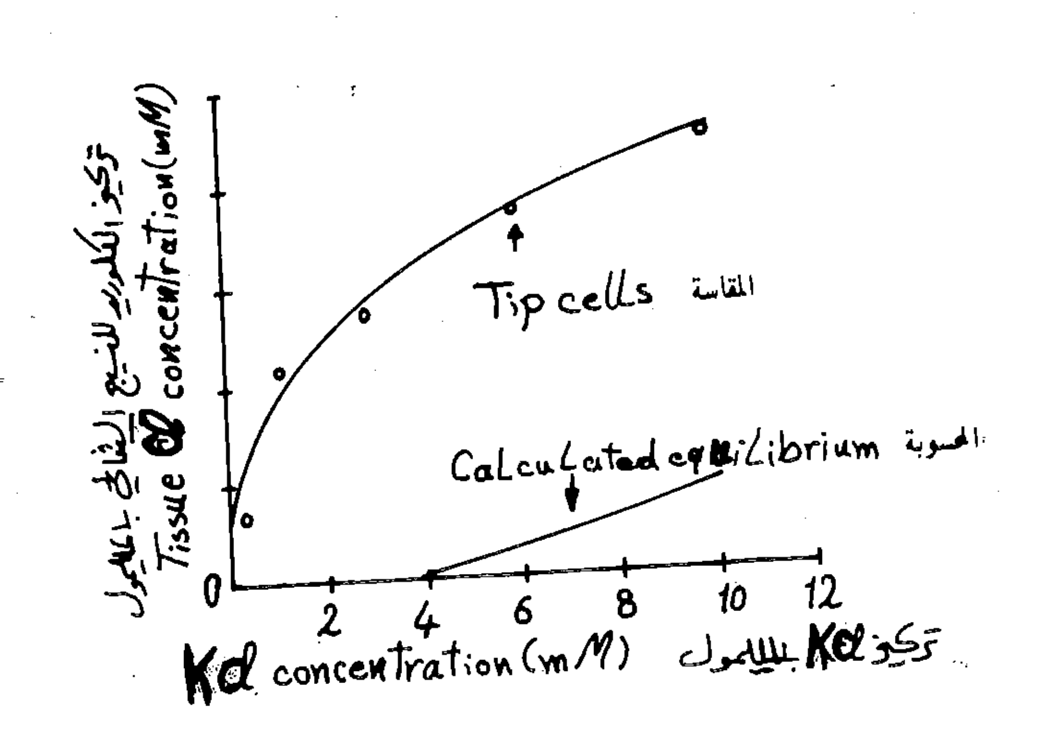
لقد قام (Spanswick and Williams, 1964) بقياس الفروقات بين الجهد الكهربائي وتراكيز الايون في الوسط الخارجي وداخل خلية Nittella ونتائج هذه التجربة موجودة في الجدول (5-2) .

جدول (5-2) قيم Em المقاسة و Ecal المحسوبة والقوى الناقلة (Ed) الناتجة . الارقام من الدراسة التي اجريت على **Nitella translucens** (Spanswick and Williams, 1964)

نوع الايون	القيمة المقاسة للجهد الكهربائي Em (مليفولت) mV	القيمة المحسوبة للجهد الكهربائي Ecal (مليفولت) mV	قيمة القوى القوى الناقلة Ed (مليفولت) mV	نوعية الامتصاص
Na^+	138 −	67 −	71 −	غير حيوي
K^+	138 −	179 −	41+	حيوي
CL^-	138 −	99 +	237 −	حيوي

وحيث ان الخلايا الحية تكون دائما مشحونة بشحنات سالبة . فمن هنا يتبين بأن الانيونات هي معرضة للانتقال الحيوي اكثر من الكاتيونات وعندما يكون تركيز الانيونات للخلية أكثر من تركيزها في الوسط الخارجي فان هذا يدل على الامتصاص الحيوي (anions) قد حدث وأن الانيونات الرئيسية Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$ قد تجمعت ضد الانحدار الكهروكيمياوي (Higinbotham, 1973) .

إن الشكل (5-1) يوضح النتائج التي تم الحصول عليها من اطراف جذور نبات الماش mung bean **(Phasoulus aureus)** حيث تم في هذه الدراسة مقارنة قيم CL^- الممتصة المقاسة مع مستويات Cl^- الممتصة والمشتقة من معادلة Nernst للتوازن (Gerson and Poole, 1972) والذي يستدل منه بحدوث امتصاص حيوي للـ CL^- حيث كانت تراكيز CL^- المقاسة اكثر من قيمة CL^- المحسوبة باضعاف .



شكل (5-1) تركيز Cl^- في اطراف جذور نبات الماش **mungbean** مقارنة مع تركيزه عند الحد الاعلى والذي كان سببه الانتشار للتوازن المحسوب .
عن : **(Gersa and Poole, 1972)** .

أما بالنسبة للكاتيونات فتكون الحالة مختلفة بسبب الشحنات السالبة المخلية لأن الكاتيونات ربما تتجمع في الخلية بواسطة قوى فيزياوية غير حيوية .

ولقد قام (1973, Higinbotham) بعدة تجارب أوضح فيها بأن تركيز Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} في خلايا النبات لا تزيد عن مستوى التوازن الفيزياوي ولهذا فانها تمتص بصورة حرة أي غير حيوية . ومع ذلك فتوجد تجارب توضح أن البوتاسيوم قد امتص حيويا . وقد أيد ذلك (1976, Davis and Higinbotham) بان البوتاسيوم يمتص حيويا ووجدا بأن K^+ قد انتقل ضد الانحدار الكهروكيمياوي من خلايا النسيج الحشوي (Parenchyma) الى داخل الأوعية الخشبية (Xylem vessels) لجذور نبات الذرة الصفراء .

إن الاختلاف بالجهد الكهربائي بين الخلية والوسط الخارجي يعتمد على النشاط الحيوي للنبات فقد لاحظ (Jeschke, 1970) بأن الجهد الكهربائي في خلايا ورقة نبات **(Elodea densa)** في الضوء كان ‎-180‎ مليفولت في حين كان في الظلام ‎-120‎ مليفولت . وفي الوقت الحاضر أصبح مقبولا بأن الشحنات السالبة في الخلية ناتجة عن فرضية الضخ الآيوني. والتي سيأتي شرحها . أن حوامل الكاتيونات والأنيونات يجب أن ينظر اليها على أنها خاضعة لفكرة الضخ الأيوني كذلك .

وطبقا للدراسات التي أجراها (1979 Cheeseman and Hanson,) واللذان اقترحا أنه في حالة التراكيز المنخفضة للبوتاسيوم أي أقل من 0:5 ملليمول فان البوتاسيوم ينقل حيويا الى داخل الخلية بواسطة الـ ATPase، بينما في التركيز العالي من الـ K^+ فان البوتاسيوم يمتص سلبيا بطريقة حرة . بسبب التغير في الجهد الكهروكيمياوي العائد الى فرضية الضخ الأيوني للهيدروجين (H^+- Pump) والتي يفترض بأنها تعتمد على نشاط الأنزيم الـ ATPase .

4.5- الفرق بين الامتصاص السلبي والامتصاص الحيوي

(أ) الامتصاص السلبي (الحر أو الفيزياوي) **Passive absorption**

1) امتصاص غير حيوي (غير مرتبط ببذل طاقة من قبل النبات)

2) امتصاص متعاكس Reversible

3) غير اختياري Non Selective

(ب) الامتصاص الحيوي (النشط أو الفعال) **Active absorption**

1) مرتبط ببذل طاقة من قبل النبات

2) امتصاص غير متعاكس Irreversible

3) اختياري Selective

5.5 - النفاذية والاختيارية في امتصاص ونقل الايونات
Permeability and Selectivity for ion uptake and transport

إن الجدار الخلوي كما أشرنا الى ذلك سابقا لا يمثل أي عائق لمرور أيونات العناصر الغذائية خلاله غير أن غشاء الخلية (Plasmalemma) هو غشاء متمايز النفاذية differentially permeable بمعنى أن له القابلية على التمييز بين الايونات المختلفة حيث يسمح لنفوذ بعضها ويمنع مرور الأيونات الاخرى مع الاخذ بعين الاعتبار ضرورة توازن الايونات الموجبة والسالبة الشحنة داخل الخلية كهربائيا. وبعبارة أخرى إن للنبات القدرة في اختيار وامتصاص أيونات العناصر الغذائية وكذلك أنواعها وهذا يعني ان الامتصاص لا يتناسب طرديا مع تركيز الايونات المتواجدة في محلول التربة أو وسط النمو. فعلى سبيل المثال وجد أن معدل مرور أيونات العناصر المعدنية من محلول التربة الى داخل الخلية يعتمد على الشحنة الكهربائية حيث تنفذ الايونات الاحادية الشحنة (Monovalent) كالنترات NO_3^- والكلوريد Cl^- والبوتاسيوم K^+ والصوديوم Na^+ والامونيوم NH_4^+ أسرع من الايونات الثنائية الشحنة كالكبريتات SO_4^{2-} والكالسيوم Ca^{2+}.

ومما تجدر الاشارة اليه انه عند امتصاص أيون ما فان توفر أيون مشابه له في الشحنة في وسط النمو قد يؤدي الى بطء عملية امتصاص الايون الأول أو قد يزيد من امتصاص الأيون الأول وفي حالات أخرى قد يؤثر أيون على أيون آخر في عملية الامتصاص.

وعلى سبيل المثال وجد أن أيون البوتاسيوم يقلل من امتصاص ايون الصوديوم والعكس صحيح حيث أن وجود أيون الصوديوم يقلل من امتصاص أيون البوتاسيوم وبالمثل فإن كلا من أزواج الايونات (K^+, NH_4^+) ، (Ca^{2+}, Mg^{2+}) ينافس كل منها الآخر في عملية الأمتصاص.

في حين وجد (Viets 1944) في تجاربه على جذور الشعير المقطوعة ان وجود الكالسيوم في وسط النمو يزيد من محصلة امتصاص البوتاسيوم (محصلة امتصاص البوتاسيوم = البوتاسيوم الممتص الداخل الى الخلية مطروحا منه البوتاسيوم الخارج من

الخلية الى الوسط الخارجي) Net K-absorption = (K-Influx)-K-efflux)
والشيء المثير في هذا الموضوع هو أن الكالسيوم الموجود في داخل الجذور لم يكن له أي تأثير في زيادة محصلة امتصاص البوتاسيوم . ولهذا فانه قد أرتؤي ضرورة وجود الكالسيوم في وسط النمو الخارجي . إن هذا الاكتشاف في تأثير الكالسيوم يقترح بأن الكالسيوم يلعب دورا مهما في الحدود الخارجية بين المحلول الغذائي وغشاء البلازما وليس نتيجة الايض الحيوي للخلية . إن تأثير Viets قد فسر من قبل العديد من الباحثين بطرق مختلفة . فقد ارتأى كل من (1957 Kahn and Hanson بأن الكالسيوم يحفز الحوامل الوسطية للنقل في حين اعتقد (1965 Pitman) بأن الكالسيوم يزيح الحاجز الهيدروجيني (H^+ - barrier) وبهذا يمكن تسهيل عملية دخول الايونات الى الخلايا . غير ان (1967 Mengel and Helal) افترضا بأن الكالسيوم يقلل تدفق البوتاسيوم الى الخارج (efflux) وليس في امتصاص البوتاسيوم الى الداخل (Influx) وبالتالي تكون المحصلة النهائية هي زيادة معدل امتصاص البوتاسيوم .

ومما تجدر الاشارة اليه ان نفاذية الغشاء تتوقف على المركبات الجزيئية الداخلة في تكوينه وان نفاذية الاغشية للايونات المعدنية مختلفة فقد لوحظ مثلا ان الغشاء الخارجي للمايتوكوندريا كثير النفاذية بينما الغشاء الداخلي لها يكون حاجزا لهذه الايونات . كما بين (1973, Cram) بأن غشاء البلازما لجذور الذرة الصفراء يكون ذو نفاذية جيدة لـ Cl^- في حين ان غشاء الفجوة ذو نفاذية قليلة له .

ان العوامل الخارجية تؤثر كذلك في نفاذية الغشاء الخلوي فقد وجد أن نفاذية الغشاء للايونات المعدنية تعتمد بصورة ملحوظة على تركيز H^+ ، Ca^{2+} في الوسط المتاخم . ووجد (1950 Jacobson et al.) في تجاربهم على جذور الشعير الحديثة بانه عند الرقم الهيدروجيني pH (4.5) يحدث تسرب للبوتاسيوم حيث أن الهيدروجين يزيد من نفاذية الغشاء . ويرى (1966 Marschner and Mengel,) ان وجود الكالسيوم يكون ضروريا خاصة في الوسط ذي الرقم الهيدروجيني المنخفض للمحافظة على سلامة الغشاء والتقليل من تسرب البوتاسيوم من داخل الخلية الى الوسط الخارجي لنمو النبات . وطبقا لما جاء به (1965 Stevenink,) فإن الكالسيوم ربما يؤثر في النفاذية وذلك بربط الشحنات السالبة للبلازما مع جدار الخلية في حين ان الكاتيونات الاخرى تشترك بصفة اساسية مع البروتوبلازم وهذا يوضح لماذا هذه الكاتيونات لا تغير من نفاذية الغشاء مقارنة بالكالسيوم . وان التفاعل المتداخل بين H^+ ، Ca^{2+} هو مثال نموذجي للتضاد الايوني

(Antagonism) حيث ان الايونين يعملان بصورة مختلفة . فاذا ازيل الكالسيوم العائد للغشاء باستبداله بالهيدروجين (1967 Mengel and Helal,) أو بأستعمال المواد الخلبية (1965 Steveninck,) فان نفاذية الغشاء تزداد بصورة ملحوظ ويحصل نضوح الايونات والمركبات العضوية ذات الوزن الجزيئي الواطىء . وبمعنى اخر فإن نقص الكالسيوم في المحلول الخارجي او عند الحدود المحيطة بالخلية يؤدي الى معدل تدفق عال الى الخارج ولهذا فإن غياب الكالسيوم في محلول التربة يكون هو المسؤول عن نضوح أيونات العناصر الغذائية من جذور النبات الى محلول التربة .

اما التأثير المضاد (Antagonism) غير معروف كثيرا في الامتصاص الانيوني بالرغم من ان امتصاص Cl^- ، SO_4^{2-} و $H_2PO_4^-$ يمكن ان يحفز بقلة امتصاص NO_3^- بشدة (1977 Kirkby and Knight,) . والتأثير المضاد او التزاحمي الاكثر انتشارا هو بين NO_3^- ، Cl^- حيث وجد ان التجهيز العالي بالكلوريد في الوسط الغذائي يقلل من امتصاص النترات والعكس صحيح .

وفي تغذية النبات يكون التأثير التشجيعي (Synergism) بمعنى زيادة امتصاص أيون نتيجة لوجود أيون اخر في وسط النمو هو عكس التأثير المضاد (Antagonism) . والعلاقة التشجيعية تحصل بين أيونين غذائيين عندما يحفز امتصاص عنصر نتيجة لوجود عنصر اخر وعلى سبيل المثال فإن التغذية بالنترات تشجع امتصاص الكاتيونات وهذا التأثير غير متخصص . فالتغذية بالنترات يكون لها كما هو معروف تأثير فسيولوجي قاعدي اي انها تؤدي الى انفراد مجاميع الهيدروكسيل على سطح الجذور مما يزيد من شحنته السالبة وبالتالي يقوم النبات بامتصاص الكاتيونات لمعادلة هذه الشحنة .

كما وجد ان للفسفور تأثير مفيد في زيادة امتصاص المغنيسيوم والعكس صحيح ايضا . كما ذكر ان للمولبدنم تأثير مفيد في امتصاص الفوسفات وان للسيكات تأثير مفيد في امتصاص الفوسفات كذلك .

اما بالنسبة للتأثيرات المضادة (Antagonism) فإن كلا من الكبريتات والبيكربونات والزرنيخات AsO_4^{2-} تقلل من امتصاص الفوسفات (Mengel, 1968) . اما تأثير الايونات المتعاكسة في الشحنة فقد وضحته التجارب التي قام بها (Luttge and Laties, 1966) بان امتصاص أيونات البوتاسيوم وانتقالها حيويا لا يتأثر بامتصاص وانتقال أيونات الكلوريد او الكبريتات السالبة الشحنة .

وعند امتصاص الايونات الموجبة والسالبة لملح ما وبمعدلات مختلفة فإن النبات يلجأ الى احداث بعض التعديلات والتحويرات في أيضه الحيوي لمعادلة الاختلاف في التوازن الناتج عن ذلك. فمثلا ان امتصاص البوتاسيوم يكون اسرع من امتصاص الكبريتات وهو الانيون المصاحب مما يجعل النبات يكون بعض الاحماض العضوية في حالة أيونية سالبة مثل حامض الستريك أو الاوكزاليك او الماليك وذلك لمعادلة تأثير زيادة البوتاسيوم او قد يلجأ لاخراج كميات مكافئة من ايونات الهيدروجين كما اشار الى ذلك (1941 Ulrich,) .

اما التداخل الايوني الذي شرح سابقا فقد فسر بانه تأثير تبادلي غير متخصص وليس عملية تزاحم على الحامل او الناقل (Carrier) وهذا لايعني بأن عملية التزاحم على الناقل لا تحدث بعملية الامتصاص . فقد بينت الدراسات العديدة بان هناك تنافساً بين انواع الايونات ذات العلاقة أو الترابط الوثيق مثل K^+ و Rb^+ او Ca^{2+} ، Sr^{2+} (1959 Micheal,) او بين ازواج الايونات SO_4^{2-} ، SeO_4^{2-} (Leggett and Epstein, 1956) والفوسفات والزرنيخات (1958 Micheal and Marschner,) .

6.5- النظريات المختلفة المتعلقة بالامتصاص السلبي

1.6.5- نظرية الأنتشار Diffusion theory

هي عملية انتقال ايونات العناصر الغذائية من التركيز العالي الى التركيز المنخفض الى أن يتساوى تركيز هذه الايونات في محلول التربة وفي الفراغ الحر للحذر التابع لهذه النباتات .

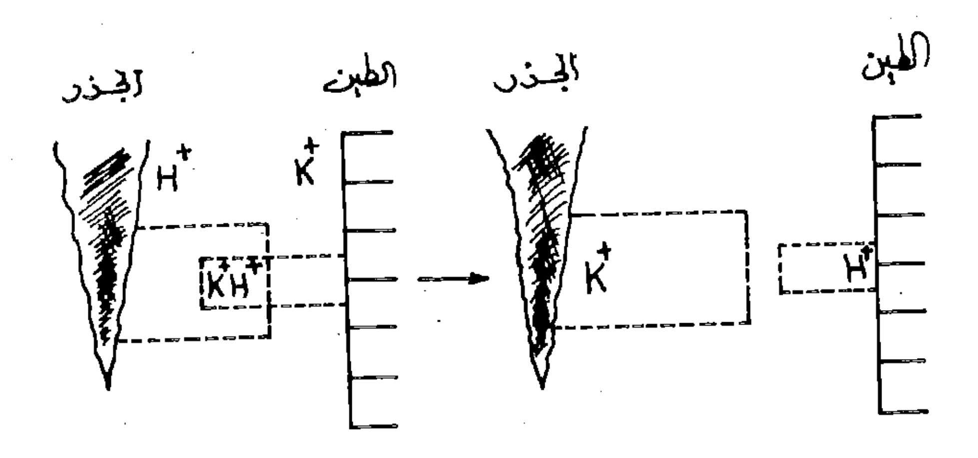
2.6.5- الامتصاص التبادلي على سطح الجدار الخلوي وغشاء البلازما

حيث ان الجدار الخلوي وغشاء البلازما محملان بشحنة سالبة فأن الكاتيونات المتواجدة في محلول التربة يمكنها ان تمدص عليها وهذه بدورها يمكنها ان تتبادل فيما بعد مع الكاتيونات الموجودة في محلول التربة كما سبق وأن بينا ان لجذور النباتات سعة تبادل كاتيوني .

3.6.5- التبادل بالتماس Contact exchange

حيث يحدث تبادل بين الكاتيونات المتبادلة على سطح الجذر مع الكاتيونات المتبادلة على غرويات التربة (الطين والدبال) ويحدث ذلك دون ان يكون لماء التربة (محلول التربة) اي دور ويتم ذلك عندما تتداخل حقول التذبذب (Field oscillation) لحبيبة طين مع الجذر وعندما تكون الايونات التابعة لكل منها

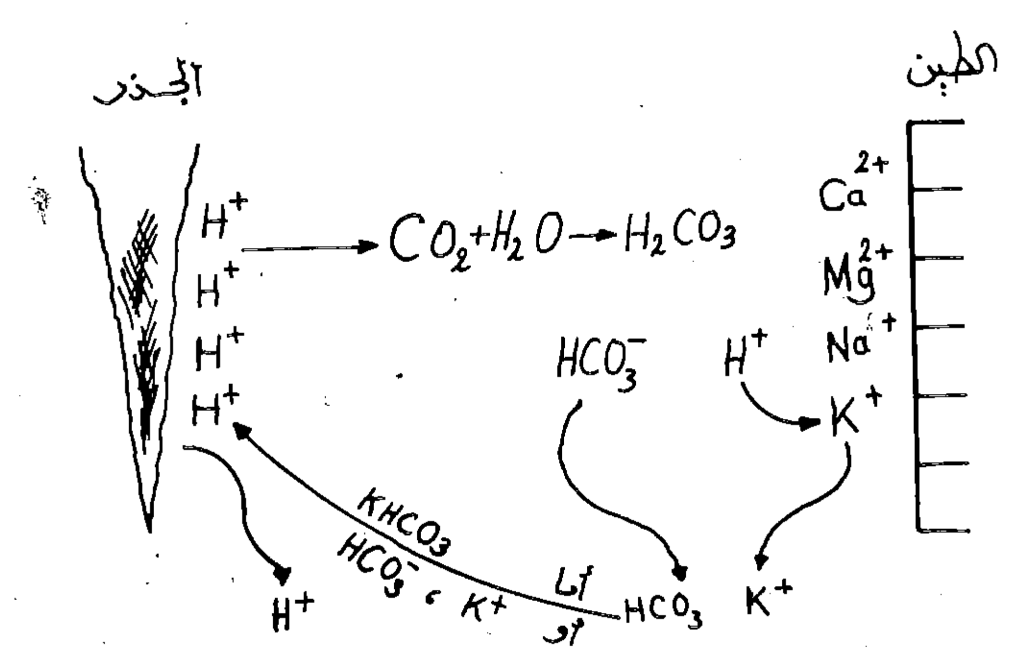
متواجدة في نهاية حقل التذبذب فيمكن ان يحدث تبادل لهذه الايونات مابين حبيبة الطين والجذر كما يتضح ذلك من الشكل (5-1) .



شكل (5-1) التبادل بالتماس Contact exchange
محور عن : Delvin, 1966)

4.6.5- امتصاص الكاتيونات من التربة ودور غاز CO_2

أن الشكل (5-2) يوضح كيفية انتقال الكاتيونات المتبادلة على سطح الطين لغروي لكي تصل الى سطح الجذر . ويمكن تلخيص العملية بما يأتي :



شكل (5-2) يوضح دور Co_2 في عملية التبادل الايوني بين الجذر والطين . عن (Jenny and Overstreet, 1939)

1) ينبعث CO_2 من تنفس الجذور ويذوب في الماء مكونا حامض الكربونيك H_2CO_3
2) ينتشر الحامض من حيث التركيز العالي (جدار الجذر) الى التركيز المنخفض (الطين الغروي).
3) يتأين هذا الحامض الى H^+ , HCO_3^-
4) يحل ايون الـ H^+ محل الكاتيون المتبادل (k^+ مثلا على سطح الطين الغروي مما يزيد من حموضة الطين.
5) الكاتيون المتبادل مع الـ H^+ يتفاعل مع HCO_3 ويتجه الى الجذر.
6) عند سطح الجذر يتبادل البوتاسيوم مع هيدروجين الجذر وينفرد الهيدروجين الى محلول التربة.

ولاثبات ان الطين الغروي تزداد حموضته اثناء التبادل بين هيدروجين الجذر والكاتيون المتبادل على سطح الطين فقد قام العالم Jenny بأجراء تجربة حيث نمّي بادرات فول الصويا في معلق طين كالسيومي تفاعله (pH) 6.3 وبعد فترة أُخذت البادرات من المعلق وحللت كيمياويا فظهر في المعلق مقدار 1.2 ملليمكافيء من الكالسيوم كما وجد مقدار 0.948 ملليكافيء من الهيدروجين على حبيبات المعلق لم تكن موجودة قبل اجراء التجربة وبقياس الـ pH للمعلق وجد انه قد انخفض الى 4.32 بدلا من 6.3 عند بداية التجربة.

5.6.5 ـ توازن دونان Donnan equilibrinm

لاحظ دونان ان الايونات السالبة التي دخلت الى الفراغ الحر قد مسكت ومنعت من الخروج بمعنى انها قد ثبتت في الخلية وهذا يتعارض مع مفهوم الانتشار. وعند انتشار اعداد متكافئة من الايونات السالبة والموجبة الى داخل الخلية عبر غشاء الخلية فيحدث توزيع غير متساو للايونات على جانبي الغشاء حيث وجد:

1) عند نقطة التوازن يكون تركيز الايونات الموجبة الشحنة مساويا لتركيز الايونات السالبة الشحنة في كل من جانبي الغشاء سواء كانت الايونات قابلة للانتشار او غير قابلة للانتشار (مثبتة) مثل البروتينات السالبة الشحنة أي أن:

أ) خارج الخلية

$$C^{+} = I^{-}$$

حيث C^{+} هو مجموع تراكيز الكاتيونات الموجبة الشحنة ، I^{-} هو مجموع تراكيز الانيونات السالبة الشحنة .

ب) داخل الخلية

$$C^{+} = I^{-} + F^{-}$$

حيث C^{+} , I^{-} هما التركيزين المكافئين للأيونات الموجبة والسالبة والمنتشرة الى داخل الخلية ، F^{-} هي تركيز الانيونات السالبة الشحنة والمثبتة داخل الخلية .

2) عند نقطة التوازن يجب ان يكون حاصل ضرب تركيز الكاتيونات الموجبة القابلة للانتشار X تركيز الانيونات السالبة القابلة للانتشار على جانب من الغشاء مساويا لحاصل ضرب تركيز الكاثيونات الموجبة القابلة للانتشار X تركيز الانيونات السالبة القابلة للانتشار على الجانب الآخر من الغشاء . اي ان :

$$(Co^{+})\ (Io^{-}) = (Ci^{+})\ (Ii^{-})$$

خارج الخلية . داخل الخلية

ونتيجة لذلك يكون مجموع تركيز الانيونات السالبة الشحنة داخل الخلية اكثر من تركيزها خارج الخلية . ولأجل ان يتم التوازن الكهربائي يجب ان تمر ايونات موجبة اضافية عبر الغشاء لمعادلة الايونات السالبة الشحنة والمثبتة في داخل الخلية وهذا يؤدي الى ان يصبح تركيز الايونات الموجبة في الخلية اكثر من خارجها بعكس تركيز الايونات السالبة الشحنة .

ومما تجدر الاشارة اليه ان فكرة دونان تأخذ بنظر الاعتبار تجمع الانيونات السالبة الشحنة ضد انحدار التركيز (against concentration gradieut) دون الحاجة الى بذل طاقة من قبل النبات الحي .

6.6.5 ـ فرضية الجهد الكهربائي Electrical potential

من المعروف ان الجدار الخلوي وغشاء البلازما محملان بشحنة سالبة اي انهما يسلكان سلوك غرويات التربة من الطين والدبال . ولقد وجد انه في المحاليل التي يقل تركيز ايونات الهيدروجين فيها عن (10^{-3} غم ايون/ لتر) فان الجذور تكتسب شحنة كهربائية سالبة ويكون فرق الجهد الكهربائي سالبا ويزداد فرق

الجهد السالب كلما قلّ تركيز ايونات الهيدروجين عن ذلك وبالعكس فكلما زاد تركيز ايونات الهيدروجين عن ذلك في المحلول الذي حول الجذور كلما أدى الى قلة فرق الجهد الكهربائي السالب وبمعنى آخر قلة الشحنة السالبة (وبزيادة تركيز ايونات الهيدروجين قد يصبح الجذر محملا بشحنة موجبة ويصبح فرق الجهد الكهربائي موجبا) . وعلى ذلك فانه اذا وجدت الجذور في محلول معروف درجة تفاعله (الـ pH له) فإننا قد نصادف احدى الحالات الثلاث الآتية :

1) درجة تركيز الهيدروجين في المحلول تساوي درجة تركيز الهيدروجين على الجدار الخلوي للجذر وفي هذه الحالة يكون فرق الجهد الكهربائي يساوي صفرا أي انه لا يحدث اي امتصاص للايونات حيث تكون الشحنة متعادلة .

2) درجة تركيز ايونات الهيدروجين في المحلول اكبر من تركيزها على جدار الخلية وفي هذه الحالة يكون الجذر محملا بشحنة موجبة وفرق الجهد الكهربائي يكون موجبا أيضا وفي هذه الحالة يقوم النبات بامتصاص الانيونات لمعادلة الشحنة الموجبة على الجدار الخلوي .

3) درجة تركيز ايونات الهيدروجين في المحلول اقل من تركيزها على جدار الخلية وفي هذه الحالة يكون فرق الجهد الكهربائي سالبا اي ان جدار الخلية النباتية يكون محملا بشحنة سالبة وهذه هي الحالة الطبيعية في الجذور الحية وفي هذه الحالة يقوم الجذر بامتصاص الكاتيونات في محلول التربة .

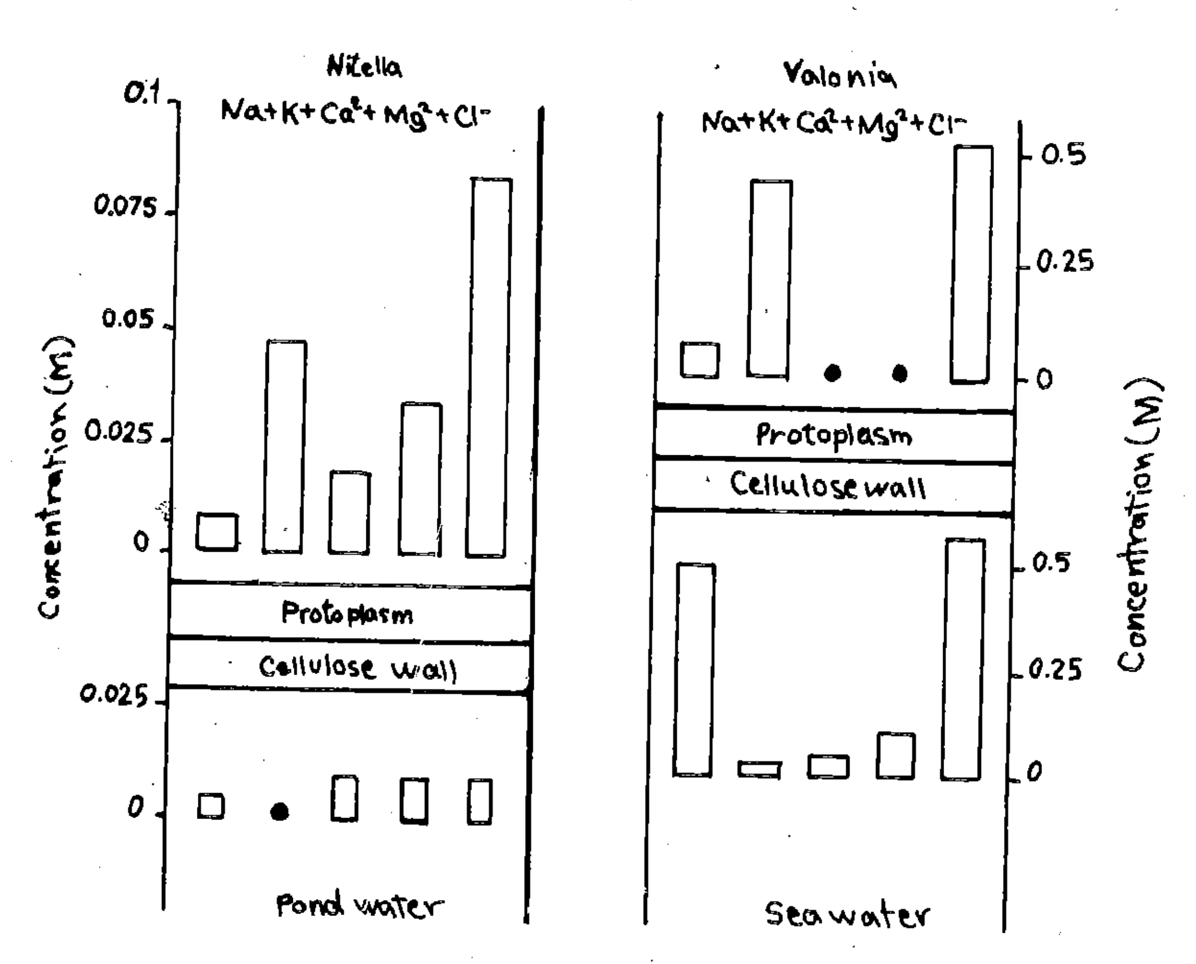
وعلى ذلك فإن قيمة فرق الجهد الكهربائي لخلايا الجذر تؤثر في قدرة النبات في امتصاص الكاتيونات او الانيونات ولذلك يؤخذ مقدار فرق الجهد الكهربائي كمقياس لمدى نشاط خلايا الجذور في عملية الامتصاص ويمكن تفسير ذلك كالآتي :

أ) كلما زادت درجة تركيز أيونات الهيدروجين في محلول التربة . بحيث لا تزيد عن ($^{-3}$ غم ايون/ لتر) كلما زادت الكمية الممتصة من الانيونات وقلت الكمية الممتصة من الكاتيونات .

ب) وبالعكس كلما قلت درجة تركيز ايونات الهيدروجين في محلول التربة كلما زادت كمية الكاتيونات الممتصة قلت في نفس الوقت كمية الانيونات الممتصة .

ففي ترب المناطق الرطبة الحامضية والتي يزداد فيها تركيز ايونات الهيدروجين الناتج من تحلل المادة العضوية الموجودة في تلك الترب يزداد فيها امتصاص الانيونات ويقل فيها امتصاص الكاتيونات بل بالعكس قد يحدث سحب للكاتيونات والمتواجدة اصلا على سطح الجذر (Depletion) وتحرر هذه الكاتيونات الى محلول التربة وبسبب الامطار الغزيرة قد تغسل وبكميات كبيرة من مقد التربة (Profile) الى الاعماق بعيدا عن متناول جذور النبات ولذلك فإن اضافة الجير لهذه الترب ضرورية لرفع درجة تفاعلها من ناحية ولامداد النبات بالكالسيوم من ناحية اخرى .

بالنسبة لظروف العراق وكذلك لترب المناطق الجافة وشبه الجافة فالعكس هو الصحيح حيث يكون فرق الجهد الكهربائي سالبا ويزداد هنا امتصاص الكاتيونات ويقل فيها امتصاص الانيونات ويكون معقد التبادل لغرويات التربة مشبعاً بأيونات عناصر الـ (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} and K^{+}) .



شكل (3-5) تراكيز الايونات في الفجوة العصارية لطحلبي Valonia, Nitella مقارنة بتراكيزها في اوساط النمو

عن : (Hoagland 1948)

7.6.5 ـ التدفق (الجريان أو الانسياب) الكتلي Mass Flow

يعتقد بعض الباحثين أن الايونات يمكن أن تتحرك خلال الجذور مع حركة تدفق الماء (Russel and Barber 1960) . وطبقا لذلك فإن زيادة تيار النتح لابد أن يسبب في امتصاص الايونات . الاّ ان تأثير النتح هل هو مباشر أو غير مباشر فلا يزال غير واضح . وهناك اشارات واضحة على أن امتصاص عنصر الكالسيوم يكون فقط عن طريق التدفق الكتلي مع تيار النتح وأن اية اعاقة لعملية النتح كزيادة الرطوبة النسبية للهواء المحيط بالنبات فإنه يسبب ظهور اعراض نقص الكالسيوم على النبات بالرغم من وجوده بكميات جاهزة وكافية للنبات (Mengel and Kirkby 1982) . كما أن هناك اعتقاد بأن التدفق الكتلي للايونات مع تيار النتح يلعب دورا مهما في امتصاص عنصري البورون والموليبدنم .

7.5 ـ الامتصاص النشط (الفعال) Active absorption

1.7.5 فكرة عامة

من التجارب التي قام بها (Hoagland 1948) ومساعدوه التي اجريت على طحلبي **(Nitella)** الموجود في الماء العذب (Pond Water) والـ **(Valonia)** الموجود في ماء البحر (See water) قد بينت على أن تراكيز الايونات في فجوة خلية هذين الطحلبين وتراكيزها في وسط النمو لم يكن متساويا بل لاحظ أن تراكيز الـ (K^+ , Cl^-) في داخل الفجوة يصل الى مئات المرات عن تركيزها في وسط النمو بالنسبة للطحلب **(Nitella)** في حين وجد أن تركيز Na^+ في الفجوة العصارية لطحلب الـ **Valonia** هو اقل بكثير عن تركيزه في ماء البحر وهذا يدل على أنه حدث تجمع (Accumulation) لأيوني البوتاسيوم والكلوريد في فجوة طحلب النيتيلا في حين لم يحدث تجمع للصوديوم في طحلب الفالونيا وهذا يبين بوضوح أن امتصاص هذه الايونات لم يتم بواسطة الانتشار (diffusion) لأنه لو كان كذلك لتساوى تركيز هذه الايونات في داخل وخارج الطحلبين طبقا لمفهوم الانتشار والتي تنص على انتقال الجزيئات وايونات العناصر المعدنية من التركيز العالي الى التركيز المنخفض الى أن يتساوى التركيز لها في خارج وداخل النبات . ولكنه حصل اختلاف كبير في تركيزها كما يتضح ذلك من الشكل (3-5) .

كما تبين لنا هذه التجربة أن الطحلبين كان لهما القدرة الاختيارية (Selectivity) في التمييز بين الايونات التي تمتصها حيث أن طحلب النيتلا قام بتجميع البوتاسيوم بكمية كبيرة تفوق كثيرا تجمع الصوديوم علما أن تركيز الصوديوم في وسط النمو كان اعلى من تركيز البوتاسيوم . وعلى العكس من ذلك فبالرغم من

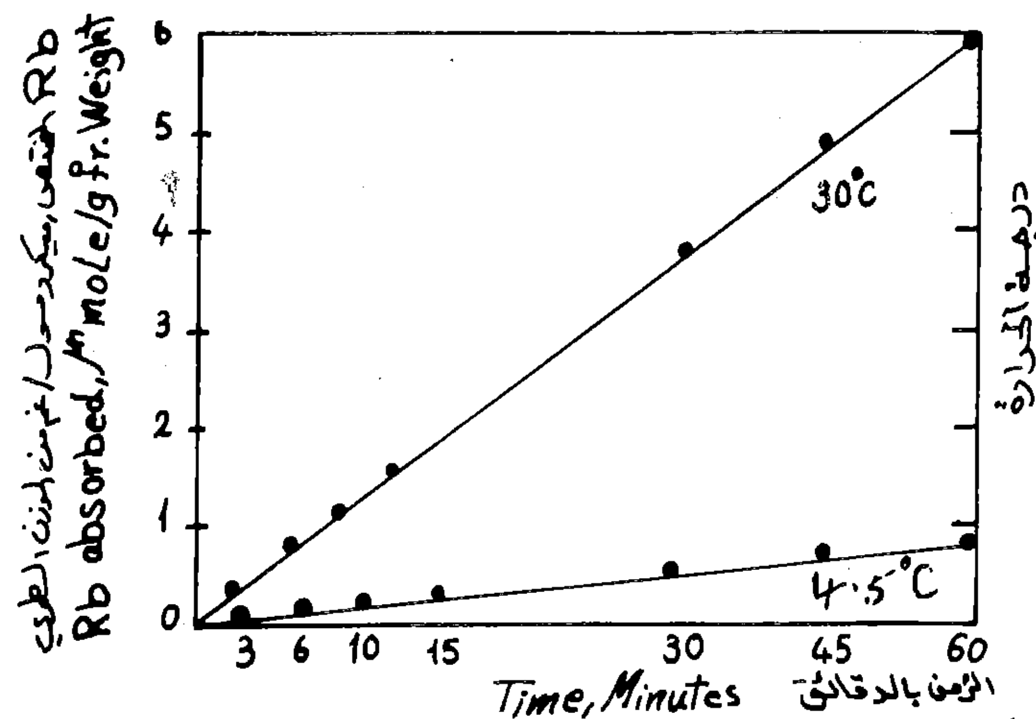
أن تركيز الصوديوم في ماء البحر كان كبيرا جدا مقارنة بتركيز البوتاسيوم الآ أن طحلب الفالونيا قام ايضا بتجميع البوتاسيوم بعشرات المرات مقارنة بتركيز الصوديوم في داخل فجوته . وهذا يدل على أن تجمع الايونات قد حصل ضد انحدار التركيز (Against concentration gradient) . وهذا كله يوضح لنا ان عملية الامتصاص تحتاج الى طاقة يقوم النبات الحي ببذلها لاجل تحقيق هذه الغاية والتي بلاشك يحصل عليها من فعالياته الحيوية .

ومن الامور الاخرى والمهمة والتي تؤيد وجود نوع اخر من الامتصاص علاوة على الامتصاص السلبي او الحر هو قيام النبات بامتصاص الايونات السالبة الشحنة والتي تشابه شحنة الجدار الخلوي وغشاء البلازما والمفروض ان يحدث للانيونات تنافر ولا يحدث لها امتصاص ولكن الواقع ان النبات يقوم بامتصاص الانيونات السالبة الشحنة مثل امتصاصه للفوسفات $HPO_4^{2-}, H_2PO_4^-$ والكبريتات SO_4^{2-} والنترات NO_3^- ..... الخ . ولاشك ان هذا يتطلب ضرورة بذل طاقة من قبل النبات الحي لامتصاص هذه الانيونات .

2.7.5 ـ الدلائل الاخرى التي تؤيد عملية الامتصاص النشط (الفعال)

بالاضافة الى عملية تجمع الايونات والى امتصاص الانيونات السالبة الشحنة فهناك ادلة اخرى تشير الى وجود عملية الامتصاص الفعال . فقد وجد ان :

أ ـ زيادة عملية الامتصاص بارتفاع درجة الحرارة الى حد مناسب والحرارة هي نوع من انواع الطاقة كما يتضح ذلك من الشكل (5-4) .

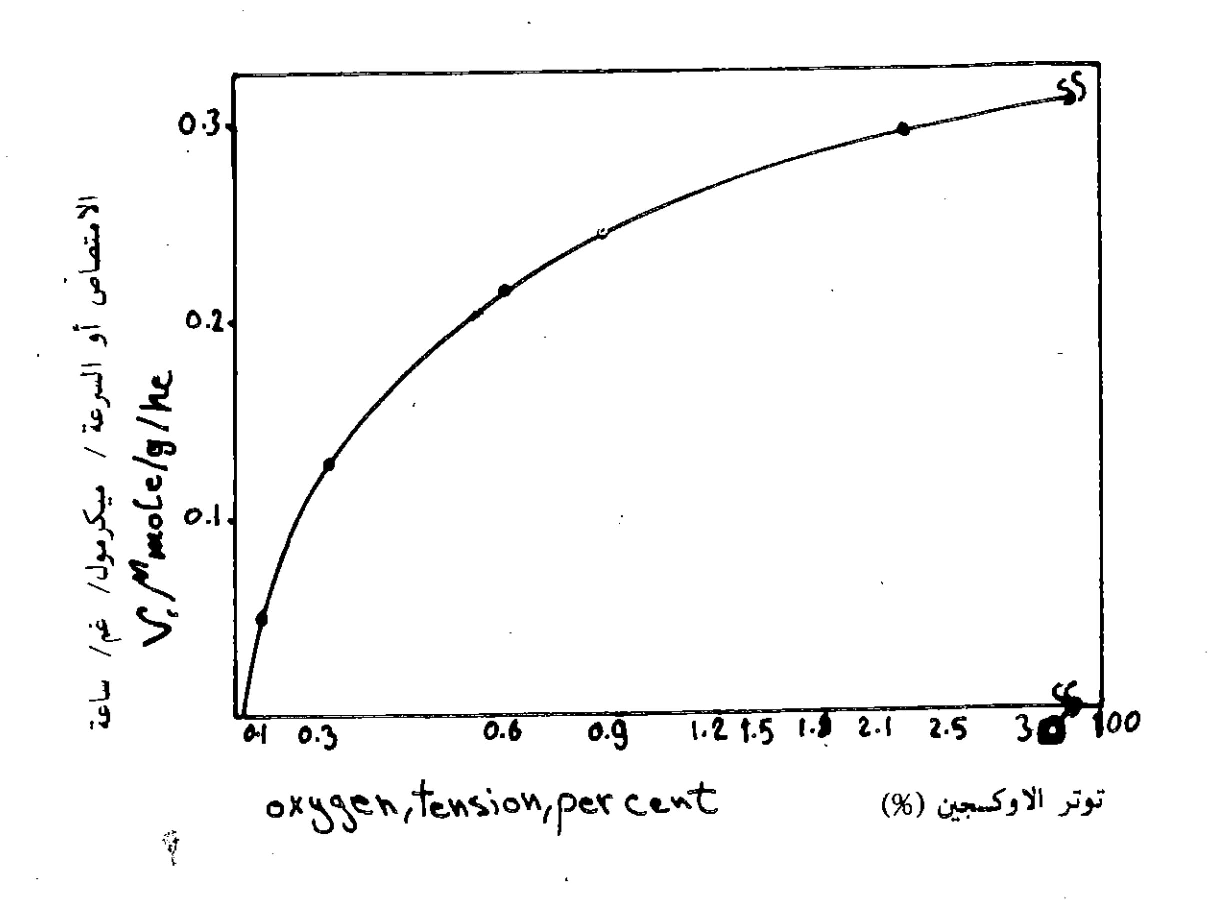


شكل (5-4) توضيح امتصاص الـ Rb بواسطة جذور الشعير كدالة لتأثير الزمن ودرجة الحرارة . تركيز الـ RbCl كان 0.1mM

عن : (Epstein et al, 1962)

ب ـ الاوكسجين

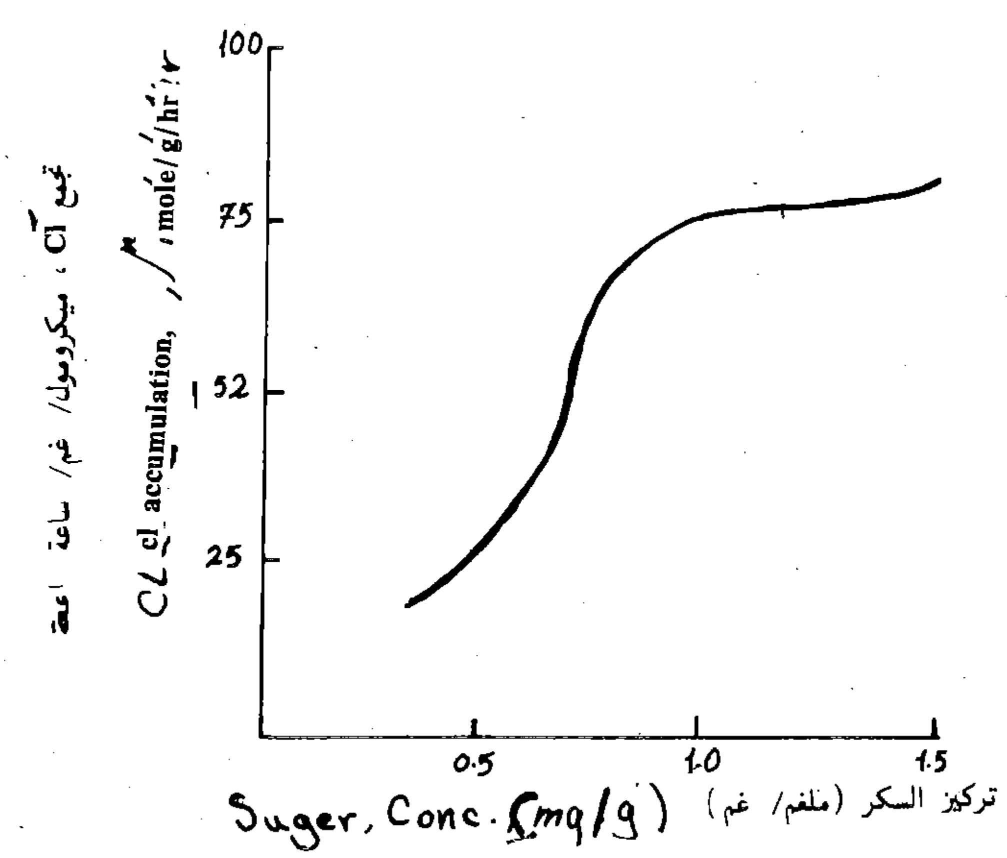
لقد وجدت زيادة في امتصاص ايونات العناصر الغذائية بزيادة النسبة المئوية للجهد الاوكسجيني كما يتضح ذلك من الشكل (5-5) .



شكل (5-5) يبين سرعة امتصاص الفوسفات بواسطة جذور الشعير المقطوعة كدالة للنسبة المئوية للجهد الاوكسجيني عن : (Hopkins, 1956)

جـ ـ الكاربوهيدرات :

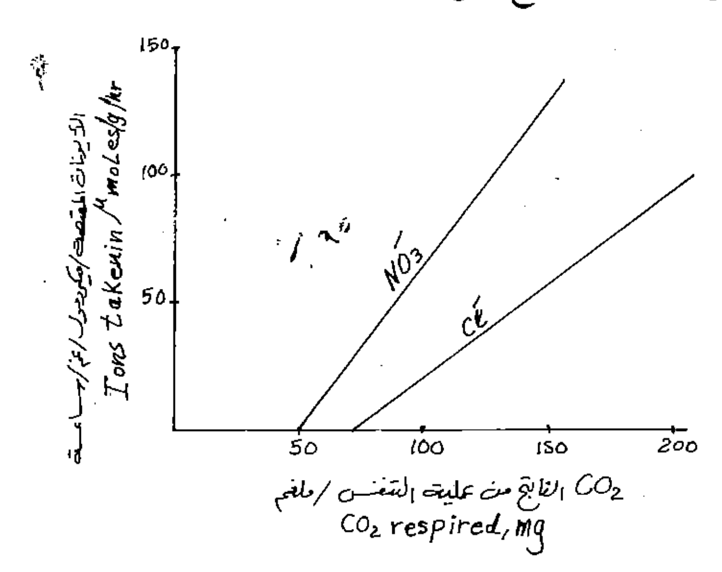
لقد وجدت زيادة في عملية الامتصاص بزيادة محتوى النسيج النباتي من السكريات كما في الشكل (5-6) .



شكل (5-6) تأثير مستوى السكر في النسيج النباتي على امتصاص الكلوريد بواسطة جذور الشعير. مأخوذ من (Epstein, 1972)

د ـ التنفس :

لقد وجد أن زيادة معدل التنفس اي زيادة خروج CO_2 أدت الى زيادة عملية امتصاص الايونات كما يتضح من الشكل (5-7).



شكل (5-7) يبين العلاقة بين تنفس النسيج وامتصاص الـ Cl ، NO_3 بواسطة جذور الحنطة عن : (Lundegardh and Burstrom 1933).

هـ ـ المواد المثبطة

لقد وجد ان هناك علاقة بين امتصاص الايونات واستخدام المواد السامة او المثبطة فعند اضافة مادة ثنائي الميثايل Dimethyle الى محلول مغذي من كلوريد البوتاسيوم انخفض معدل امتصاص البوتاسيوم بمقدار 90% ومعدل امتصاص الكلوريد (الانيون المرافق) بمقدار 60% واستهلاك الاوكسجين قد انخفض بمعدل 60% ايضا وهذا يدل على ارتباط عملية الامتصاص للايونات بالنشاط الحيوي للنبات والا بماذا يفسر انخفاض استهلاك الاوكسجين بحوالي 60% وكذلك لو ان امتصاص الايونات غير مرتبط بالنشاط الحيوي للنبات لامتص النبات كلا من البوتاسيوم والكلوريد بكميات متساوية .

و ـ الضوء

وجد ان امتصاص الايونات تزداد بزيادة شدة الضوء وهذا دليل اخر على رتباط عملية الامتصاص الحيوي بالطاقة الناتجة من عملية التركيب الضوئي حيث أن أحد وظائف عملية التركيب الضوئي هو تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيمياوية في صورة الـ (ATP) والـ $NADPH_2$ نتيجة التفاعل المعروف بتفاعل Hill (Hill-Reaction) ولوحظ ان النباتات في الضوء تمتص الايونات اسرع من النباتات النامية في الظل .

8.5 ـ الطاقة وعلاقتها بالامتصاص الحيوي للايونات المعدنية :

لقد اوضحنا سابقا ان الاغشية تمثل حاجزا وعائقا لانتشار الايونات كما اننا اشرنا الى تجمع الايونات في المحلول الداخلي للنبات وبتراكيز قد تصل الى مئات بل آلاف المرات او اكثر من تركيزها في محلول التربة الخارجي .

ولاجل امتصاص هذه الايونات ضد انحدار التركيز وحفظ هذه التراكيز العالية من الايونات داخل الخلية لابد من صرف طاقة حيوية وان كمية هذه الطاقة يمكن حسابها بصورة تقريبية من المعادلة التالية :

$$\Delta G = RTLn \frac{C_2}{C_1}$$

حيث ان :

ΔG هي التغير في الطاقة الحرة Free energy اللازمة لضخ الايونات في الخلية بوحدة كالوري / مول (Cal/mole).

R، هي ثابت الغازات Gas constant ويساوي Calories/mole/degree 1.987

T، هي درجة الحرارة المطلقة (درجة حرارة التفاعل المئوية + 273)

Ln، هو اللوغاريتم الطبيعي ويساوي 2.3 Log 10

C_2 و C_1 تركيز الايونات خارج وداخل الخلية على التوالي بوحدات $mmole/cm^3$

فلو فرض أن نسبة تركيز الايونات بين داخل وخارج الخلية هي $\frac{10000}{1}$ ودرجة الحرارة هي 20° م فتكون كمية الطاقة المبذولة من قبل النبات هي : ـ

$$\Delta G = (1.987)\ (293)\ (2.3)\ \text{Log}\ \frac{10000}{1}$$

$$= (1.987)\ (293)\ (2.3)\ (4)$$

$$= 5395\ \text{cal./mole}$$

والسؤال الذي يتبادر الى الذهن هو ما هو مصدر هذه الطاقة ، وبأي شكل كيمياوي توجد هذه الطاقة ، واخيرا كيف تؤثر هذه الطاقة في حركة الايونات عبر الاغشية الخلوية ؟

إن مصدر الطاقة في حالة النباتات الخضراء هي :

أ ـ عملية التركيب الضوئي **Photosynthesis**

حيث يتم في هذه العملية تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيمياوية أي صورة الـ Adenosine triphosphate (ATP) وكذلك في صورة الـ $NADPH_2$ (Nicotine amide adenine dinucleotidephosphate)

إن التغير في الطاقة الحرة ΔG عندما تنكسر آصرة غنية واحدة من الـ ATP تقدر بحوالي [(10000-7000) cal./mole]

$$ATP + H_2O \longrightarrow ADP + H_3PO_4 \quad \Delta G = 7000\ \text{cal./mole}$$

اما الطاقة المخزونة في الـ $NADPH_2$ فتقدر بحوالي (52000 cal./mole). وهذه الطاقة سواء في الـ ATP او الـ $NADPH_2$ تستغل لنقل الايونات وحفظها في الخلية .

إن عملية تكون الطاقة بواسطة عملية التركيب الضوئي يطلق عليها عملية الفسفرة الضوئية . Photophosphorylation
. (Arnon, Whatley, and Allen, 1954, Arnon, 1959)

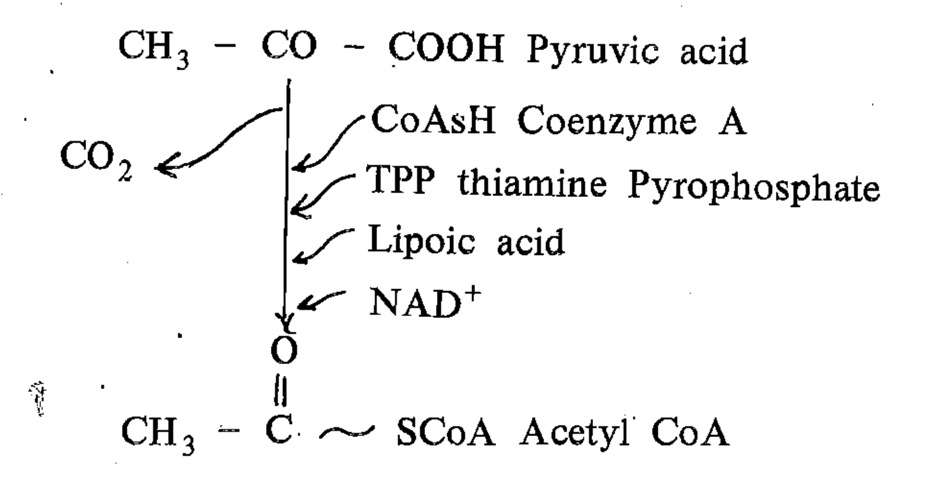
ب ـ التنفس **Respiration**

وهي عملية هدم الكاربوهيدرات وحصول النبات على الطاقة اللازمة له سواء كان ذلك تحت الظروف اللاهوائية أي في غياب الاوكسجين بعملية التخمر Glycolysis والتي تنتهي بتكون حامض البيروفيك

$$\text{Pyruvic acid } CH_3 - \overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C} - COOH$$

التي تحدث في السايتوبلازم .

أو قد ينتقل حامض البيروفيك الى المايتوكوندريا والذي يتحول الى Acetyl COA بفقدان CO_2 كالآتي :



بعد ذلك يتفاعل Acetyl CoA مع حامض الـ Oxaloacetic acid ليكون حامض الستريك Citric acid والذي يعتبر أول حامض يتكون في دورة كريبس Krebs cycle نسبة الى مكتشفها Krebs كما تسمى بدورة ثلاثي حامض الكربوكسيل Tricarboxylic acid cycle (TCA) أو دورة حامض الستريك والطاقة الناتجة من عملية التنفس تحدث بعملية الفسفرة التأكسدية Oxidative phosphorylation

ويمكن تلخيص هذه العملية بالمعادلة الآتية :

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 38ADP + 38Pi \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 38ATP$$

ومما تجدر الأشارة اليه أن 90% من الـ ATP المتكون بداخل جذر النبات يتم في المايتوكوندريا وبعبارة أخرى فأن عملية الفسفرة التأكسدية نتيجة عملية التنفس هي المسؤولة عن انتاج 90% من الطاقة في صورة الـ ATP بداخل النبات وأن 10% فقط تكون ناتجة من عملية الفسفرة الضوئية نتيجة عملية التركيب الضوئي (1968، Mengel) .

أما بالنسبة للنباتات غير الخضراء فأن انتاج أغلب الطاقة في صورة الـ ATP يتم عن طريق الفسفرة التأكسدية نتيجة عملية التنفس في المايتوكوندريا .

9.5 ـ الآراء والفرضيات والنظريات المتعلقة بالامتصاص الحيوي (النشط)

سوف نتناول الآراء والفرضيات والنظريات المرتبطة بعملية الامتصاص الحيوي أو الفعال أو النشط Active absorption لآيونات العناصر الغذائية المعدنية حسب ظهورها وتسلسلها التاريخي لتسهيل فهمها والتعامل المنطقي معها، وتذليل بعض الصعوبات التي تتعلق في معرفة ماهية الامتصاص الحيوي وانتقال المغذيات النباتية من محلول التربة أو الوسط الخارجي وحتى تصل الى المحلول الداخلي للنبات والتي هي السايتوبلازم والفجوة العصارية .

1.9.5 ـ فرضية التنفس الملحي او الانيوني
Salt Respiration or Anion Respiration Hypothesis

اول من حاول ربط عملية امتصاص الآيونات من محلول التربة ونقلها الى داخل النبات هو العالم السويدي Lundegardh عام (1954) حيث لاحظ هذا الباحث زيادة معدل التنفس العام Ground Respiration عند اضافة الملح للماء ووجد ان معدل الزيادة في التنفس تتناسب مع كمية الانيونات السالبة الشحنة الممتصة .

ان اساس فرضية لونديكارد هي النقاط الاربع التالية :

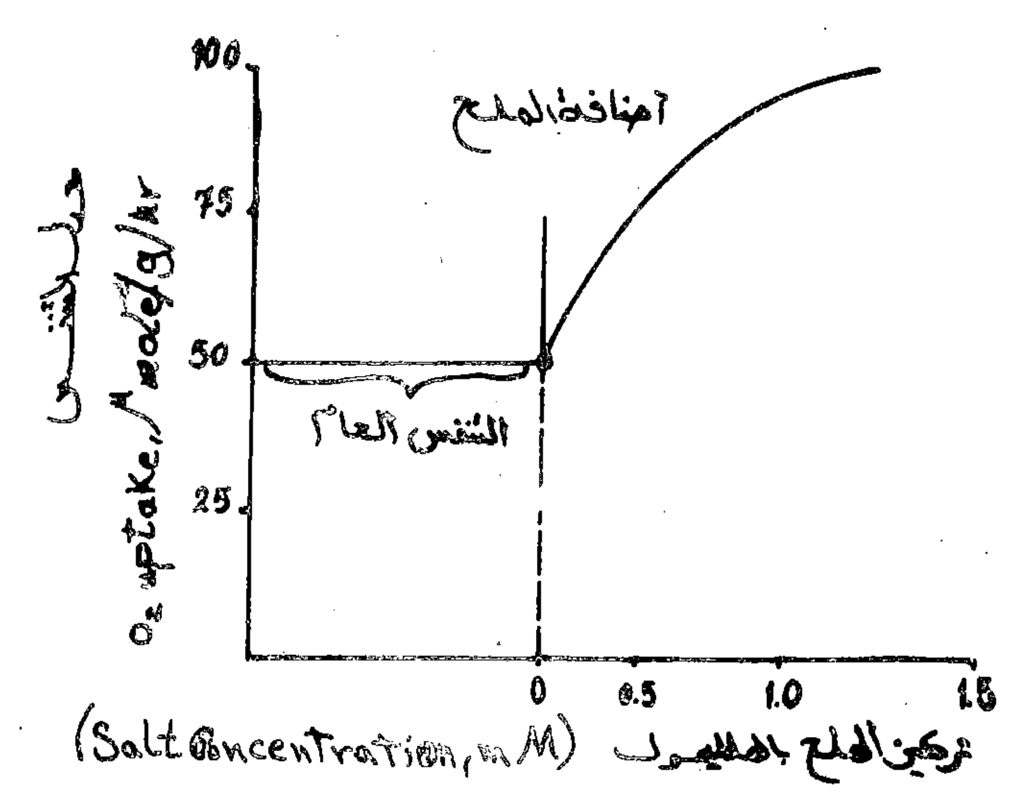
1) ان امتصاص الكاتيونات وامتصاص الانيونات هما عمليتان منفصلتان عن بعضها ويتم امتصاص كل منها تحت ظروف خاصة .

2) امتصاص الكاتيونات هي عملية تعاكسية وتتم بواسطة عملية الانتشار اي انها تتم بطريقة حرة بواسطة عملية الامتصاص السلبي Passive sbsorption

3) امتصاص الانيونات عملية غير تعاكسية اي في اتجاه واحد من محلول التر
الى داخل الفجوة العصارية وخروج الانيونات من الفجوة العصارية الى محلو
التربة غير ممكن وانها مرتبطة ببذل طاقة من قبل النبات يحصل عليها نتيج
الزيادة في عملية التنفس العام . وهذه الطاقة يحتاج اليها النبات لكي يقاو
الشحنة السالبة للجدار الخلوي وغشاء البلازما وكذلك لانتقال الانيونات
ضد انحدار التركيز ولذلك اطلق عليه أسم التنفس الملحي او الانيوني
وافترض لونديكارد ان الانيون يلزمه حامل تحمله من وقت دخوله غشا
البلازما عبر السايتوبلازم وحتى يصل الى الفجوة العصارية مخترقا غشا
التونوبلاست وان هذا الحامل هو السايتوكروم الحاوي الحديد في تركيبه .

4) يختلف التنفس الملحي او الانيوني عن التنفس العام .

ويمكن اثبات وجود التنفس الملحي بقياس تنفس النبات اثناء عملية امتصاص
الماء والكاتيونات فلوحظ ان تنفس النبات يظل ثابتا اما عند امتصاص النبا
للانيونات فيلاحظ وجود زيادة في معدل التنفس العام اي زيادة خروج غاز CO_2
ومقدار هذه الزيادة من CO_2 هي عبارة عن التنفس الملحي او الانيوني كما يتض
ذلك من الشكل (5-8) .



شكل (5-8). يبين التنفس الملحي اي ارتفاع معدل التنفس العام نتيجة اضافة الملح .
من : (كاظم ، عبد العظيم 1977)

وعندما وضع لوندريكارد حامض السيانيد HCN في وسط نمو جذور النبات اثناء امتصاص الانيونات لاحظ انخفاض امتصاص الانيونات وكذلك منع تجمعها داخل العصارة الخلوية في حين اثر حامض السيانيد قليلا على معدل التنفس العام اي انه اوقف التنفس الملحي او الانيوني كثيرا وحيث ان حامض السيانيد يثبط عمل مادة السايتوكروم فهذا دليل على ان مادة السايتوكروم ذات علاقة بعملية امتصاص الانيونات والتنفس معا وحيث ان التنفس يرتبط بانتاج الطاقة فهذا يدل ان هناك علاقة وثيقة بين السايتوكروم وامتصاص الانيونات .

ميكانيكية عملية التنفس الملحي أو الانيوني (امتصاص الانيونات)

يمكن تلخيص رأى لونديكارد في امتصاص الانيونات كالاتي :

العنصر الفعال في مادة السايتوكروم هو ذرة الحديد التي يتغير تكافؤها اثناء عمليتي الاكسدة والاختزال وذلك بفقدها او اكتسابها للالكترونات على التوالي وكالآتي :

اختزال $Fe^{3+} + e^{-} \longrightarrow Fe^{2+}$

اكسدة $Fe^{2+} - e^{-} \longrightarrow Fe^{3+}$

ويتضح من ذلك ان مادة السايتوكروم هي المادة الحاملة أو الناقلة (Carrier) للالكترونات . وعندما يكون الحديد في تركيب السايتوكروم ثلاثي التكافؤ Fe^{3+} فانه يكون مستعدا لاستقبال الكترون او اي انيون سالب الشحنة وبالتالي يصبح الحديد بعد اخذ الالكترون أو الانيون في صورة مختزلة اي في صورة الحديد الثنائي التكافؤ Fe^{2+} . كما يمكن للحديد الثنائي التكافؤ ان يفقد الالكترون أو الانيون ويصبح في حالة مؤكسدة اي في صورة الحديد الثلاثي التكافؤ Fe^{3+} من جديد، وهكذا بتوالي عمليات الاكسدة والاختزال لذرات الحديد الداخلة في تكوين السايتوكروم يمكن انتقال وامتصاص الانيونات من محلول التربة عبر غشاء البلازما فالسايتوبلازم ففشاء الفجوة ومنه الى الفجوة العصارية مقترحا ان حبيبات السايتوكروم تترتب داخل السايتوبلازم على شكل سلسلة او قنطرة (Bridge) يكون اولها او بدايتها عند غشاء الاندوبلاست الداخلي (غشاء الفجوة) الملاصق للفجوة العصارية ونهايتها عند الغشاء الخارجي الملاصق للجذر الخلوي (غشاء البلازما) .

ولقد شرح لونديكارد كيفية امتصاص الانيونات كالآتي :

1) مصدر الالكترونات هو الهيدروجين الناتج من تأين او انحلال الاحماض العضوية الموجودة بالقرب من غشاء التونوبلاست بتأثير انزيم الـ Dehydrogenase على هذه الاحماض .

2) تفقد ذرة الهيدروجين (H-atom) الكترونا فتتحول الى ايون الهيدروجين H^+ .

3) بتوالي تكوين ايونات الهيدروجين وزيادة تركيزها بجوار غشاء التونوبلاست الملاصق للفجوة العصارية ينشأ تيار مستمر من ايونات الهيدروجين يتحرك من الداخل باتجاه غشاء البلازما الخارجي الملاصق للجدار الخلوي (اي من حيث التركيز العالي للهيدروجين الى التركيز المنخفض له).

4) ينشأ تيار آخر من الالكترونات اتجاهه هو نفس اتجاه حركة ايونات الهيدروجين اي من غشاء الفجوة الى غشاء البلازما.

5) تدخل الالكترونات أثناء تحركها في نظام التنفس الانزيمي وهو انزيم السايتوكروم اوكسيديز Cytochrome oxidase .

6) يتجه الالكترون الخارج من ذرة الهيدروجين الى حبيبة السايتوكروم المجاورة لجدار الفجوة العصارية (التونوبلاست) وعندما تكتسب ذرة الحديد هذا الالكترون يتحول الحديد الثلاثي التكافؤ الى الحديد الثنائي التكافؤ. $Fe^{3+} + e^- \longrightarrow Fe^{2+}$

7) عندما تفقد حبيبة السايتوكروم الالكترون يتحول الحديد الثنائي التكافؤ الى الحديد الثلاثي التكافؤ $Fe^{2+} - e^- \longrightarrow Fe^{3+}$

وينتقل الالكترون الى ذرة الحديد المجاورة. وهكذا ينتقل الالكترون من ذرة حديد الى ذرة حديد اخرى حتى يصل الالكترون في النهاية الى حبيبة السايتوكروم في نهاية السلسلة والقريبة من غشاء البلازما الملاصق للجدار الخلوي وعندما يصل الالكترون الى حبيبة السايتوكروم الواقعة في نهاية السلسلة يصبح الحديد في الصورة المختزلة أي الحديد الثنائي التكافؤ Fe^{2+} .

8) تفقد ذرة الحديد الاخيرة في حبيبة السايتوكروم هذا الالكترون فيتحول الحديد الثنائي التكافؤ الى الحديد الثلاثي التكافؤ $Fe^{2+} - e^- \longrightarrow Fe^{3+}$ والذي يكون في هذه الحالة مستعداً مؤهلاً الى :

أ ـ استقبال الكترون آخر من الداخل أو

ب ـ استقبال انيون (لعنصر ما وليكن الـ NO_3' مثلاً من محلول التربة الخارجي).

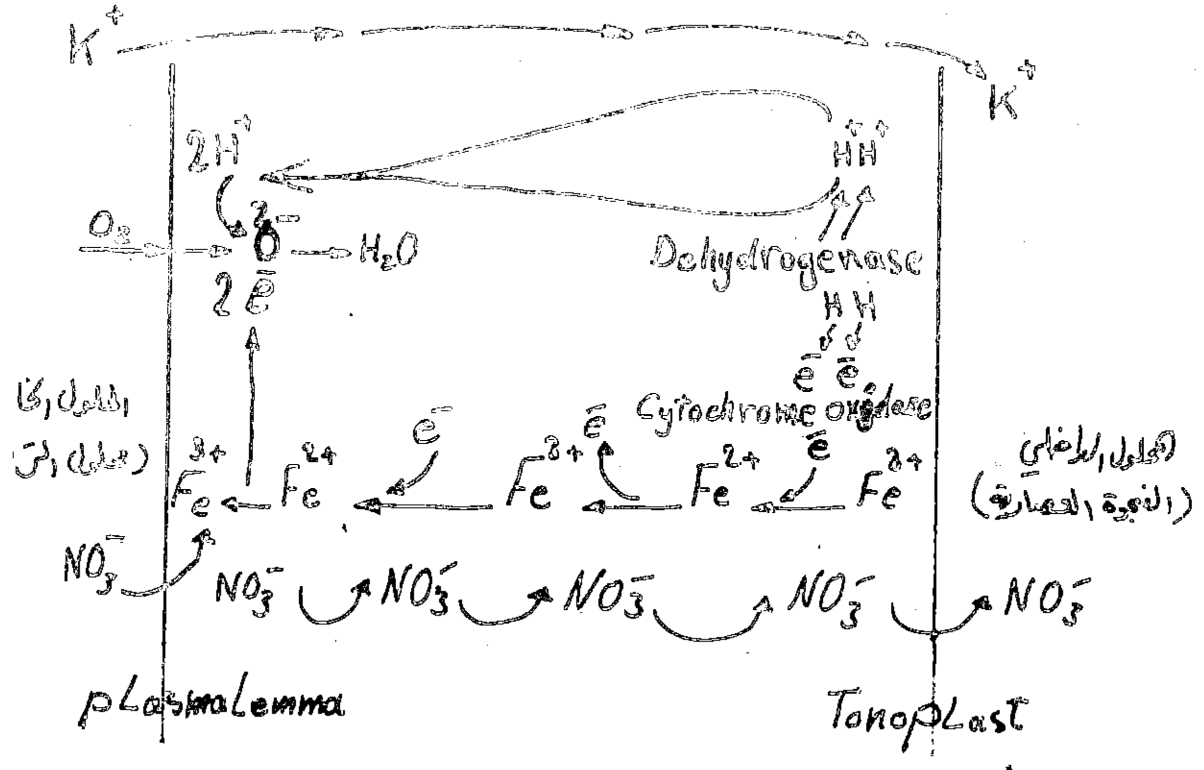
9) يتجه الالكترون الذي يهجر حبيبة السايتوكروم الاخيرة ناحية الاوكسجين الداخل للخلية للتنفس ويلزم الكترونان لكي تتحول ذرة الاوكسجين الى ايون الاوكسجين ثنائي الشحنة O^{2-} والذي يتحد مباشرة بأيونين من الهيدروجين لتكوين جزيء من الماء .

10) تتناول حبيبة السايتوكروم الاخيرة والتي عليها حديد ثلاثي التكافؤ والمجاورة لغشاء البلازما المجاور لجدار الخلية انيون النترات (NO_3^-) بعد أن ينفذ هذا الانيون خلال الجدار الخلوي وغشاء البلازما ثم تعطي هذه الحبيبة الانيون الذي تحمله الى ذرة الحديد التي تليها والثلاثية التكافؤ الى جهة الداخل وهكذا يستمر انتقال انيون النترات من ذرة حديد الى ذرة حديد اخرى حتى يصل انيون النترات الى آخر ذرة حديد مجاورة لغشاء الفجوة .

11) وهكذا ينشأ تيار من الانيونات اتجاهه من خارج الخلية اي من غشاء البلازما الى الداخل باتجاه غشاء الفجوة وعلى العكس من ذلك ينشأ تيار من الالكترونات وكذلك تيار من ايونات الهيدروجين من داخل الخلية الى الجدار الخارجي وبهذه الكيفية يتم انتقال الانيونات من محلول التربة الخارجي الى داخل الفجوة العصارية .

12) ولكي يتم دخول الانيون الى داخل الفجوة العصارية بعد انتقاله على طول سلسلة حبيبات السايتوكروم يجب أن يلاقي هذا الانيون كاتيون داخل الفجوة العصارية لكي تتم عملية التعادل الكهربائي وقد يكون العنصر الموجود في الفجوة العصارية والذي يستقبل الانيون اما كاتيون لعنصر غذائي آخر غير الهيدروجين او قد يكون الهيدروجين نفسه . ولنفترض ان الكاتيون هنا هو البوتاسيوم والذي يتم امتصاصه كما سبق بعملية الامتصاص الحر بواسطة عملية الانتشار .

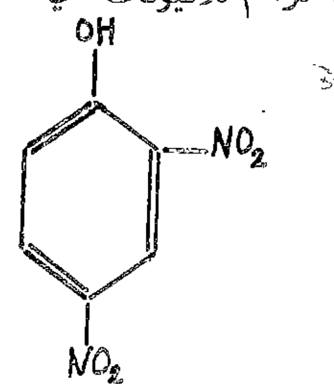
كما يتضح ذلك من الشكل (5-9) .



شكل (9-5) توضيح فكرة امتصاص الانيونات (التنفس الانيوني) او التنفس الملحي عن : (Lundegardh, 1954)

آراء العلماء حول مكانة نظرية لونديكارد : ـ

على الرغم من ان نظرية التنفس الملحي اوَ الآنيوني تساعد على تطور أشترا الطاقة الايضية في امتصاص ايونات العناصر المعدنية الا أن عددا من الباحثي لايرى ذلك ممكنا من الناحية العلمية فقد وجد كل من (obertson, Wilkins and Weeks, 1951) ان استخدام مادة (DNP) 4-Dinitrophenol, المثبطة للفسفرة التأكسدية (Oxidative phosphoylation) قد قللت أو أوقف عملية أمتصاص الانيونات في نفس الوقت الذي لم يكن لها أي تأثير على تي الالكترونات كما انها أدت الى زيادة عملية التنفس ، وهذا يدل على أهمية الطا في صورة الـ ATP في أي تراكم للأنيونات في المحلول الداخلي للنبات :



2,4-Dinitrophenol

والاقتراح الاصلي الذي يرتأى بأن الانيونات قادرة على تحفيز التنفس قد قوبل بأنتقادات شديدة من الباحثين . على سبيل المثال (Handley and Overstreet, 1955) وجدا ان كلا من آيونات البوتاسيوم والصوديوم وهي كاتيونات تحفز كذلك التنفس وليس فقط الانيونات حسب رأي لونديكارد . وأخيرا لو ان هناك حامل واحد لجميع الانيونات فأن التنافس على مواقع الارتباط بين الانيونات لابد ان يكون ظاهرا غير أنه قد تبين أن انيونات الكبريتات والنترات والفوسفات لاتظهر مثل هذا التنافس أثناء أمتصاصها وتواجدها في نفس وسط نمو النبات .

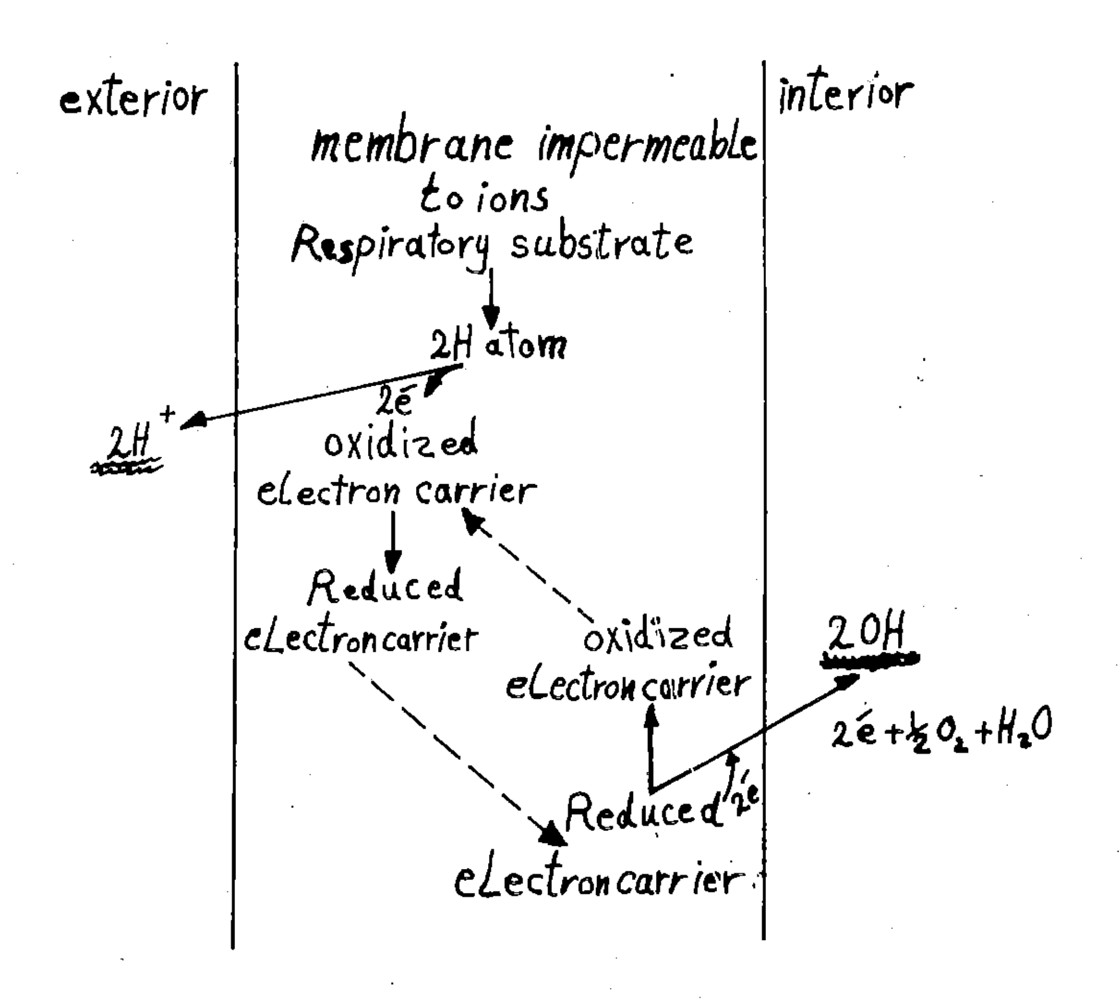
والاعتراض الاخر على مادة السايتوكروم بأنها غير متواجدة في السايتوبلازم وانها ترتبط بصفة إساسية بالتراكيب الغشائية الداخلية للجسيمات الخلوية مثل البلاستيدات الخضراء والمايتوكوندريا .

2.9.5 فرضية فصل (أنفصال) الشحنات

إقترح روبرتسون 1968 حدوث أنفصال للشحنات حيث تتحرك أيونات الهيدروجين الى الخارج بأتجاه الغشاء الخارجي للمايتوكوندريا في حين تنتقل الالكترونات بواسطة حامل الالكترونات باتجاه الغشاء الداخلي للمايتوكوندريا . وأعترض روبرتسون على الفكرة التي طرحت من قبل لونديكارد من ان السايتوكروم عبارة عن سلسلة من ذرات الحديد تكون بدايتها بالقرب من غشاء التونوبلاست ونهايتها بالقرب من غشاء البلازما واقترح ان مادة السايتوكروم تكون في حركة مستمرة حيث تكون نواة الحديد في مادة السايتوكروم على صورة الحديد الثنائي التكافؤ ويحدث لها أكسدة أثناء تحركها وذلك بفقدها للالكترون . وأقترح روبرتسون بأن آيونات الهيدروجين والهيدروكسيل قد تتحرك الى أجزاء الخلية بواسطة شبكة منتشرة في الخلية وربما بواسطة حويصلات (Vesicles) تتكون من الشبكة الاندوبلازمية .

أن فصل آيونات الهيدروجين والالكترونات شكل (5-10) والتي تسبب في تكوين مجاميع الهيدروكسيل تسبب حركة الايونات من محلول التربة الخارجي حيث تستبدل انكاتيونات مع آيونات الهيدروجين والانيونات مع آيونات الهيدروكسيل وحسب أعتقاده فأن الطاقة تصرف لأجل تلافي ايونات الهيدروجين وايونات الهيدروكسيل وتكوين الماء ويرى روبرتسون ان نقل الايونات بسبب فصل الشحنات يعتبر بديلا لاشتراك الـ ATP في عملية امتصاص الآيونات .

وبالرغم من ذلك فأن كلا من لونديكارد وروبرتسون قد وجها الانظار والانتباه الى أهمية الـ ATP المتكون بعملية التنفس أو بواسطة عملية التركيب الضوئي في امتصاص ايونات العناصر الغذائية من وسط نمو النبات والى الدور المهم الذي قد تلعبه كل من البلاستيدات الخضراء والمايتوكوندريا في هذه العملية والخاصة بالانتقال الحيوي .



شكل (5-10) توضيح فكرة فصل الشحنات charge seperation اي فصل آيونات الهيدروجين عن الالكترونات وتكوين آيونات الهيدروكسيل .
عن : (Robertson, 1968) .

الفروقات بين فرضية لونديكارد وفرضية روبرتسون

1) فرضية لونديكارد (التنفس الملحي او الانيوني) تحدث في السايتوبلازم أما فرضية فصل الشحنات أي فصل آيونات الهيدروجين للخارج وآيونات الهيدروكسيل للداخل فأنها تتم في المايتوكوندريا والكلوروبلاست .

2) المادة الحاملة أو الناقلة للألكترونات والانيونات طبقا لفرضية لونديكارد هي السايتوكروم والتي حسب أعتقاده تتواجد على شكل سلسلة بدايتها بجوار الفجوة العصارية في الداخل ونهايتها في الخارج بالقرب من غشاء البلازما الملاصق للجدار الخلوي أما حسب رأي روبرتسون بأن المادة الناقلة غير معروفة وهي فقط تستخدم لنقل الالكترونات فقط .

3) تيار الالكترونات وآيونات الهيدروجين تتحرك في اتجاه واحد من الداخل أي من الفجوة العصارية الى الخارج بأتجاه غشاء البلازما أما الانيونات فتتحرك بأتجاه معاكس أي من غشاء البلازما بأتجاه غشاء الفجوة الملاصق للفجوة العصارية حسب رأي لونديكارد . أما طبقا لفرضية روبرتسون فان آيونات الهيدروجين تتحرك بأتجاه الغشاء الخارجي للمايتوكوندريا والالكترونات تتجه الى الغشاء الداخلي للمايتوكوندريا ومكونة مجموعتين من آيونات الهيدروكسيل باتحاد الكترونين مع نصف جزيئة من الاوكسجين وجزيء واحد من الماء كالآتي : ـ

$$2e' + \frac{1}{2}\ O_2 + H_2O \longrightarrow 2OH^-$$

4) حسب رأي لونديكارد يتكون جزيئي واحد من الماء وذلك بأشتراك الكترونين في اختزال جزيئي واحد من الاوكسجين واللذان يتحدان مع جزيئين من الهيدروجين كالآتي : ـ

$$2e' + O_2 + 2H^+ \longrightarrow H_2O$$

أما طبقا لروبرتسون فيلزم أربعة الكترونات لأختزال جزيئي واحد من الاوكسجين والتي تتحد مع أربعة أيونات من الهيدروجين لتكوين جزيئين من الماء كالآتي : ـ

$$4e' + O_2 + 4H^+ \longrightarrow 2H_2O$$

5) حسب رأي لونديكارد يتم دخول الكاتيونات بطريقة سلبية لمعادلة الانيونات الممتصة نتيجة التنفس الانيوني أما حسب رأي روبرتسون فان كلا من الكاتيونات والانيونات تتم بطريقة الامتصاص السلبي او الحر بتبادل الكاتيونات مع آيونات الهيدروجين وبتبادل الانيونات مع مجاميع الهيدروكسيل . ولم يبين أي منهما كيفية اشتراك مركب الطاقة الـ ATP في عملية امتصاص الايونات .

3.9.5 ــ الفرضية المتعلقة بتكوين الـ ATP

بالرغم من ان الامتصاص الآيوني وارتباطه مع التنفس معروف منذ عشرات السنين (Lundegardh 1932) والدراسة القيمة التي أجراها (Hoagland 1948) على طحلبي الـ (Valonia, Nitella) والتي من نتائجها المهمة أوضحت حقيقة كون عملية الامتصاص لابد ان تكون مرتبطة ببذل طاقة من قبل النبات الا ان العلاقة بين الفعاليات الحيوية والامتصاص لا تزال غير مفهومة بصور كاملة لحد الآن . ولكن التجارب التي قام بها Robertson سنة 1955 وجماعته والتي اضيف فيها الى وسط نمو النبات مادة (2.4-Dinitrophenol) والتي ثبطت عملية الفسفرة التأكسدية (Oxidative phosphorylation) لوحظ قلة امتصاص الانيونات بالرغم من زيادة عملية التنفس . اما التجربة التي قام بها (Bledsoe et al., 1969) في دراستهم على امتصاص الفوسفات المشعة من قبل جذور نبات الذرة الصفراء (Zea mays) المتمثلة باضافة المادة المثبطة لعملية الفسفرة وهي مادة الـ (Oligomycin) وعند مقارنتهم للـ ATP المتكون وعلاقة ذلك بامتصاص الفوسفات خلال فترة اربع دقائق في غياب ووجود الـ Oligomycin أوضحت ان Oligomycin قد خفض تكوين الـ ATP الى الثلث دون ان يكون لذلك أي تأثير على امتصاص الفوسفات ولكن عند وضع مادة الـ Oligomycin لفترة طويلة لوحظ توقف تكون الـ ATP تماما وادى ذلك الى وقف امتصاص الفوسفات وقد فسروا نتائجهم على النحو الاتي :

آ) ان استخدام العامل المثبط لفترة قصيرة ولو أنه ادى الى انخفاض تكوين الـ ATP الى الثلث الاّ انه عوض عنه بما هو موجود ومخزون منه فعلا بداخل النبات بحيث تمكن النبات من امتصاص الفوسفات .

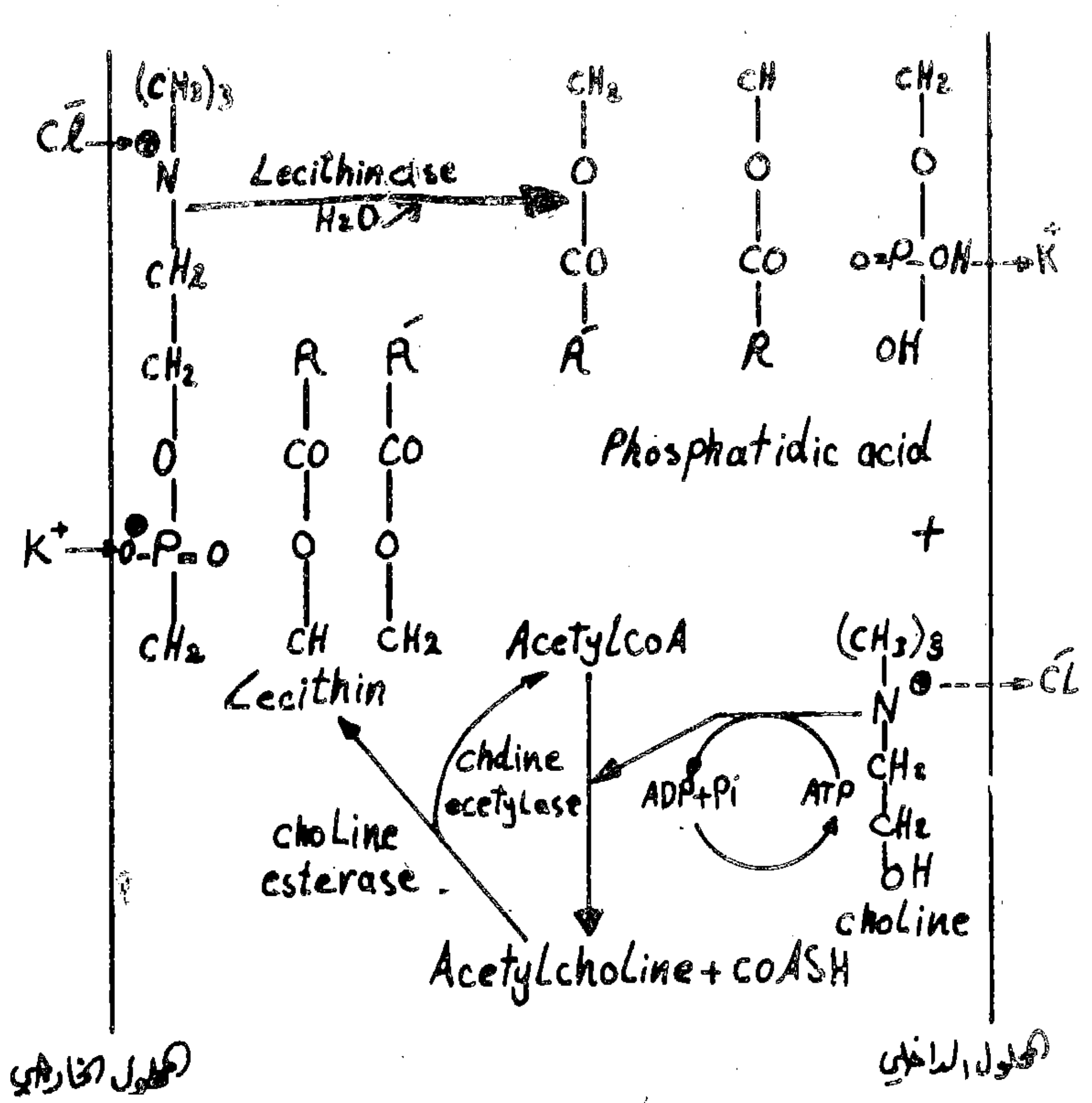
ب) عند وجود العامل المثبط لفترة طويلة ولعدم تكون الـ ATP الجديد واستهلاك النبات للـ ATP المتواجد اصلا بداخله فان النبات لم يستطع القيام بامتصاص الفسفات .

من هذه التجارب يتضح مدى الارتباط بين الـ ATP وامتصاص ايونات العناصر الغذائية .

4.9.5 ــ دورة الفوسفاتيد

وبناء على ماتقدم فقد اقترح العالم (Dennet-Clark, 1956) مايسمى بدورة الفوسفاتيد(Phosphatide cycle) والتي بين فيها اشتراك الـ ATP المباشر في امتصاص ايونات العناصر الغذائية . كما يتضح ذلك من الشكل (5-11) . حيث

اقترح بنيت – كلارك ميكانيكية للامتصاص النشط للملح والذي يستخدم فيها الـ ATP . هذا الباحث اقترح ان الفوسفوليبيدات (Phospholipids) ربما تكون مهمة في نقل الالكترون عبر الاغشية الخلوية غير المنفذة للايونات المعدنية . وفي هذا النقل فان الليستين (فوسفوليبيد) يتكون ايضيا كما انه يمكن ان يتحلل مائيا .



شكل (11-5) توضيح دورة الفسفاتيد كميكانيكية لعملية الامتصاص الحيوي عبر الاغشية الخلوية والذي يبين اشتراك الـ ATP فيها .
عن : (Bennet-Clark, 1956)

ويمكن تلخيص الفكرة كالآتي :

Phosphatidic acid + choline + ATP ——» Lecithin

والليستين يتحلل مائيا ليعطي الكولين وحامض الفوسفاتيديك كالاتي : –

Lecithin + H2O ——» phosphatidic acid + Choline

والليسثيـن يكـون محملا بشحنـات موجبـة وسالبـة ، ويمكـن أن يتحـلل بطر
دورية حيث يلتقط اثناءها الايونات من على السطح الخارجي ويطلقها بالت
المائي الى الفراغ الداخلي . وتمثيل واحد على الاقل من مركبات دورة الفوس
يحتاج الى ATP . هذه الفرضية تواجه عقبات عندما تطبق على النباتات الـ
حيث أن النباتات لاتحتوي على الليسثين والكولين Choline او انزي
(Choline esterase) ولما كانت النباتات تحتوي على مواد مشابهة وحيث
أدخل بالفعل الـ ATP في عملية الامتصاص فانه فتح بذلك افاقا جديدة واف
جيدة لبحث كيفية اشتراك الـ ATP في عملية الامتصاص الحيوي لأيو
العناصر المعدنية .

إن العملية الدقيقة التي بواسطتها يسهل الـ ATP امتصاص ايونات العن
الغذائية وخاصة انتقالها عبر الاغشية الحيوية غير واضحة لحد الآن . غير أنه
يوجد اتجاهان رئيسيان من الافكار المتعلقة بتسيير الامتصاص الايوني حيويا
باشتراك الطاقة من النبات الحي في صورة الـ ATP . الرأي الاول ي
الامتصاص على اساس الانتقال بواسطة حامل او ناقل وهذا يطلق عليه ن
الحامل أو الناقل (Carrier theory) . والآخر يركز ويؤكد على أهمية ا
الايوني (Ion pumps) عبر الغشاء .

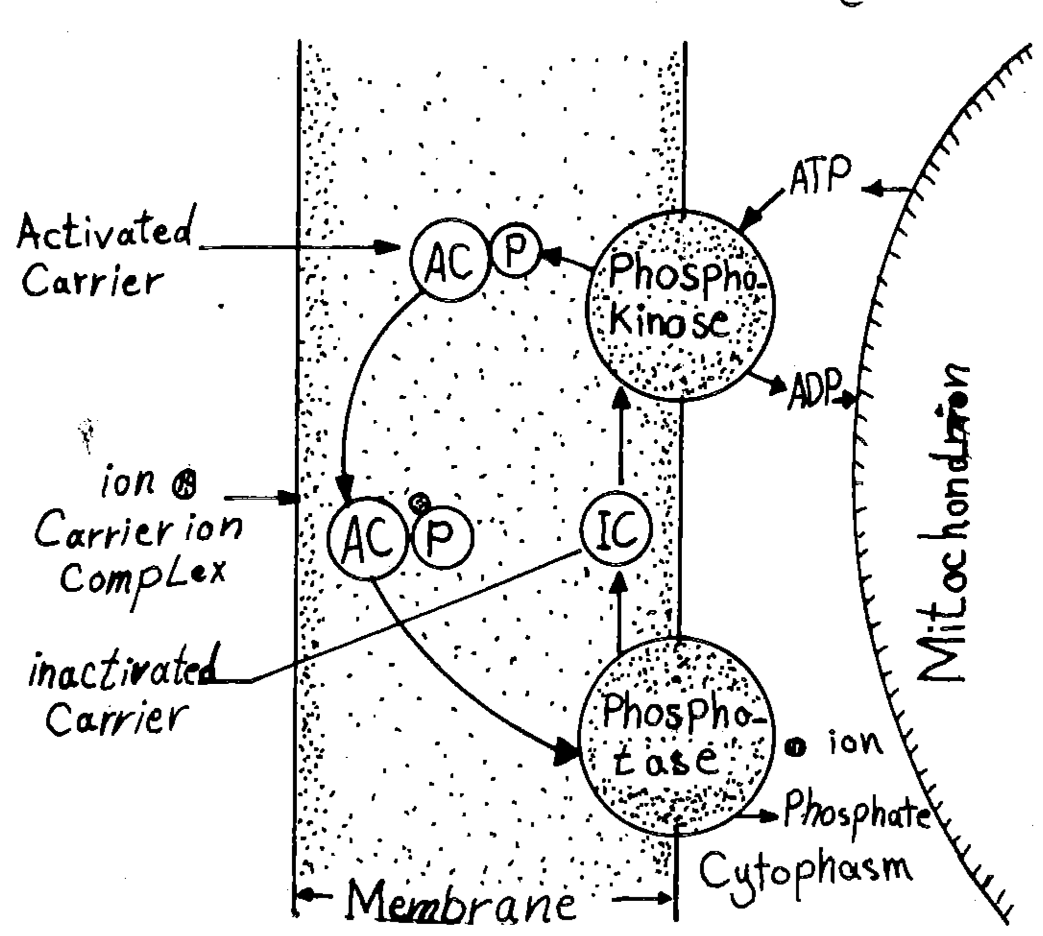
5.9.5 ـ نظرية الحامل (الناقل)

لقد اقترح منذ فترة طويلة بأن نقل الالكترونات يحتاج الى حامل أو ناقل
ذكر فإن لونديكارد اقترح السايتوكروم لنقل الانيونات في فرضيته (فر
التنفس الملحي) او الانيوني في حين اقترح الباحث بنيت ـ كلارك
الفوسفوليبد (الليسثين) هي المادة الناقلة للالكترونات في حين يرتأي عدد آخ
الباحثين على انها بروتينات أو حتى انزيمات امثال (Epstein, and Hagen 2
و (Hodges et al. 1972) و (Mitchell, 1966) .

ومهما يكن الأمر فإنه يمكن القول بصورة عامة أن الاغشية الحيوية
جزيئات خاصة تكون قادرة على نقل الايونات عبر الغشاء الحيوي وغير ا
أصلا لايونات العناصر المعدنية ومثل هذه الجسيمات أطلق عليها بالحوام
النواقل (Carriers) . ويعتقد حاليا بأن هذه الحوامل تمتلك صفة التخ
(Specificity) للايون المعين بمعنى أن لها القدرة فقط على نقل هذا الايون
دون غيره ولو حدث أن كان الحامل متخصص لنقل ايونين فهنا يحدث تنافس

هذين الايونين على الموقع الفعال للحامل وبالطبع فايهما أكثر تركيزا في وسط النمو ، فإنه يستطيع أن ينافس الايون الآخر ويمتص هو على حساب الايون الآخر وبالفعل فقد وجد أن هناك حاملاً متخصصاً لنقل ازواج الايونات مثل (K^+ , Rb^+) او (Sr^{2+} , Ca^{2+}) أو (SO_4^{2-} , SeO_4^{2-}) او الفوسفات والزرنيخات) .

ومما تجدر الاشارة اليه انه لكي يتمكن الحامل من الارتباط بالايون ونقله عبر الغشاء فانه يحتاج الى عملية تنشيط (activated carrier) (AC) ويطلق على الحامل المنشط من قبل الـ ATP والمرتبط بالايون بمعقد الحامل والايون (carrier ion complex) وعندما يرتبط الايون بالحامل فإن شكل وتركيب الحامل يتغير وعندما يحرر ويطلق الايون الى داخل الغشاء فإنه يجب أن يجدد مرة اخرى ببذل طاقة اخرى في صورة الـ ATP لكي يعود الى شكله وتركيبه الاصلي والاّ تعذر عليه الارتباط ونقل الايون المخصص له مجددا . وهذا يوضح كيفية اشتراك الـ ATP في عملية الامتصاص والنقل الحيوي للايونات عبر الاغشية الخلوية كما يتضح ذلك من الشكل (5—12) .



شكل (5-12) انتقال الحامل الايوني عبر الغشاء والمنشط بالطاقة من الـ **ATP.**
عن **(Mengel and Kirbky, 1982)**

ان الحامل ينشط بالطاقة من الـ ATP حيث يتكون الحامل المنشـ (acivated carrier) (AC) وهذا يرتبط مع الايون وبذلك يتكون معقد ، الحامل والايون (Carrier Ion complex) وهذا المعقد يكون قابل للانتشار ، الغشاء الى الانزيم Phosphatase الذي يقع عند الحدود الداخلية للغشاء . يقو انزيم الفسفاتيز بفصل مجموعة الفوسفات من الحامل المعقد (H_3PO_4) وبهذه الكيفية يعتقد بان الحامل يفقد صلته بالايون الذي بدوره يتحرر وينطلق الى الوسـ المجاور وهو السايتوبلازم ولتحقيق الخاصية الاختيارية مرة ثانية فإنه كما ذكر يحتـ الى الـ ATP وهذه العملية تحدث بواسطة انزيم Phosphokinase والذي يتواجـ ايضا عند حدود الغشاء الداخلي . وان مركب الحامل المفسفر ربما بعد ذلك ينتقـ عائدا الى حدود الغشاء الخارجي لحمل ايون اخر وهكذا تعاد دورة الامتصاص من جديد .

ويمكن توضيح ما سبق باختصار بالاتي : —

$$\text{Carrier} + \text{ATP} \xrightarrow{\text{phosphpkinase}} \text{Carrier}\sim\text{P} + \text{ADP}$$

activated carrier

$$\text{Carrier}\sim\text{P} + \text{Ion} \longrightarrow \text{Carrier}\sim\text{P-Ion}$$

carrier ion complex

$$\text{Carrier}\sim\text{P} - \text{Ion} \xrightarrow{\text{Phosphatase}} \text{Carrier} + \text{Pi} + \text{Ion}$$

$$\text{Net:Ion} + \text{ATP} \xrightarrow{\text{Transport}} \text{Ion} + \text{ADP} + \text{Pi}$$

ان محصلة هذه المعادلات توضح بان انتقال ايون واحد خلال الغشاء يحتاج جزئية واحد من الـ ATP الذي يكون مسؤولا عن الطاقة المطلوبة .

ان فكرة الانتقال بالحامل هي فكرة مفترضة ولكنها توضح الحقائق الاسا واستنتاجاته . وهذه الاستنتاجات هي ان الامتصاص الايوني المسير بالطاقة امتصاص انتقائي Selective والطاقة من المحتمل ان تكون على شكل الـ P وان الامتصاص الايوني يأخذ مجراه ضد الانحدار في التركيز . اما اشتراك كل الانزيين Phosphatase, Phosphokinase في الامتصاص الايوني الحيوي زال غامضا ولكن هناك ادلة على اشتراك الانزيمات في الامتصاص الايوني

ان الحاجز للجزيئات المحبة للماء hydrophilic (مجاميع OH ، NH_2 ومجاميع الفوسفات ومجاميع الكربوكسيل) هو الوجه الدهني ولهذا يبدو ان الحامل او الناقل قد يكون من جزيئات الدهون . وبما ان الاغشية الحيوية نفاذة لجزيئات الدهون لذلك فإن مثل هذا الناقل قد يكون باستطاعته الانتشار والانتقال عبر الغشاء . كما اشار (1967 Muller and Rudin,) ان المضادات الحيوية مثل nonactin ، Valinomycin, gramicidin قادرة على احداث امتصاص ونقل اختياري لايونات العناصر المعدنية فقد وجد على سبيل المثال ان معدل انتقال البوتاسيوم بواسطة الـ Valinomycin هو اكثر بحوالي 300 مرة مما هو في حالة الصوديوم .

6.9.5 ـ الضخ الايوني وانزيم الـ ATPase

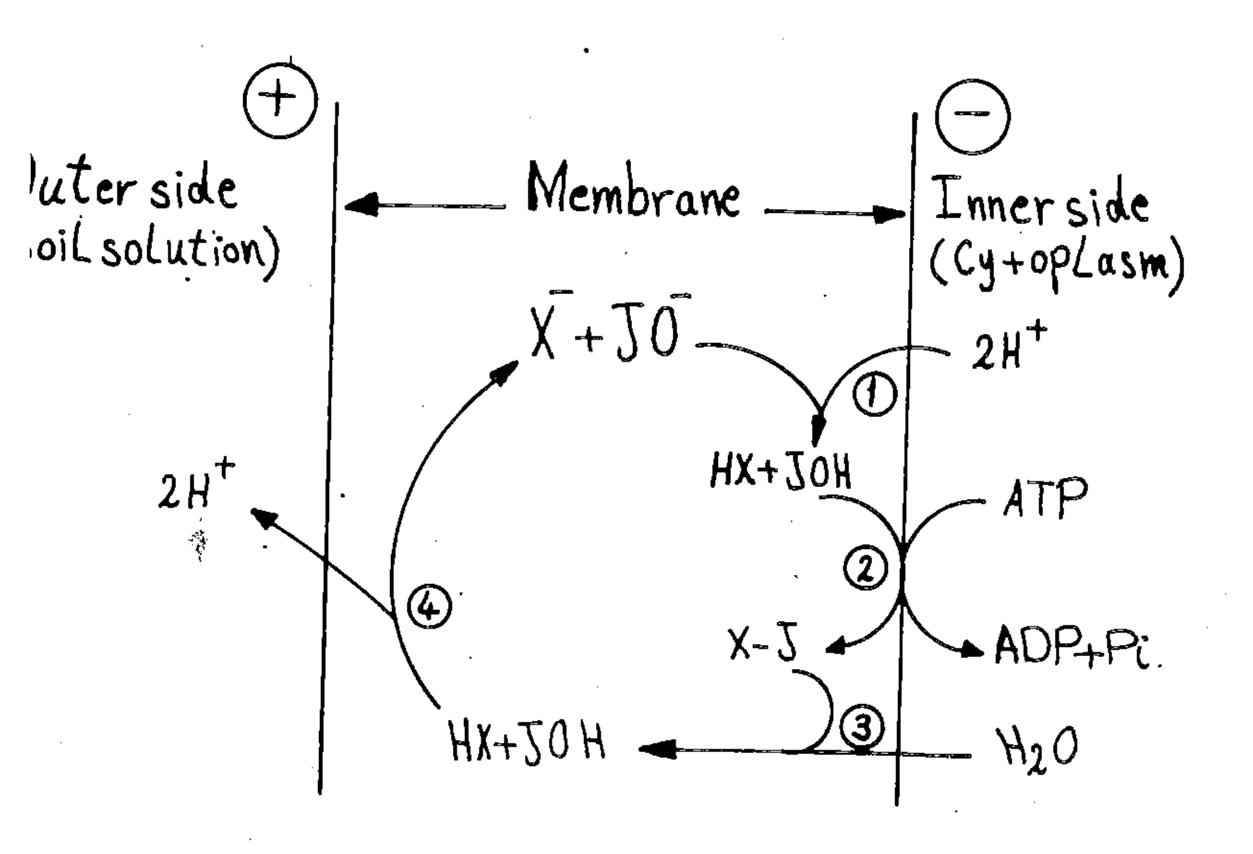
Ion pumps and ATPase

ان ميكانيكية الضخ الايوني والتي اكتشفت من قبل الباحثين (1966,Mitchell) ، (197 Hodges) (1976 Rather and Jacoby) ، (1978 Poole) قد اقترحت لتفسير الامتصاص والانتقال الايوني والمعتمد على الطاقة المتواجدة في الـ ATP خلال الاغشية الحيوانية . فالخلايا الحيوانية غالبا ما تحتوي على تراكيز عالية نسبيا من الـ K^+ ، Cl^- في حين أن الوسط الخارجي يحتوي على تركيز عالي من الـ Na^+ .

والمثال النموذجي لمثل هذا التوزيع الايوني هو ماموجود فعلا في الدم . حيث أن كريات الدم الحمراء تحتوي على تراكيز عالية من الـ K^+ وتراكيز منخفضة من الـ Na^+ بينما العكس هو ما موجود في البلازما حيث تحتوي تراكيز عالية من الـ Na^+ بينما العكس هو ما موجود في البلازما حيث تحتوي تراكيز عالية من الـ Na^+ وتراكيز واطئة من الـ K^+ . هذا التوزيع غير المتماثل من الـ Na^+ والـ K^+ قد عزى الى نشاط انزيم الـ ATPase المعقد . إن الـ ATPases عبارة عن مجموعة من الانزيمات والتي لها القدرة على شطر الـ ATP الى ADP والفوسفات غير العضوية والتي يكون من نتيجتها هو تحرر الطاقة التي تستغل في عملية النقل الايوني وفي الخلايا الحيوانية يعتقد ان مضخة الايون (Ion pump) عبارة عن مركب مكون من انزيم الـ ATPase وبروتين سكري (glycoprotein) .

ولقد اقترح بأن التحليل المائي (Hydrolysis) للـ ATP يؤدي الى تغير في شكل البروتين بحيث يجعله أن يكون ملائما لنقل الكاتيون خلال الغشاء الحيوي .

إن الغشاء الحيوي الرابط للـ ATPase لكل من البكتريا والفطريات والنباتات الراقية تختلف عن مجموعة الـ ATPases الحيوانية ولا يعتقد أن التغير في شكل البروتين يكون هو الميكانيكية التي يتم بواسطتها نقل المغذيات خلال الاغشية النباتية . ولكن حاليا بوجه عام هناك قبول بأنه في الخلايا النباتية فإن الغشاء الرابط للـ ATPase وخاصة الـ ATPase لغشاء البلازما هو المسؤول عن الشحنة السالبة للخلية . هذه الشحنة السالبة هي ظاهرة سائدة وموجودة فعلا في كل الخلايا النباتية والتي يعتقد (Mitchell, 1978) انها تعود الى الـ ATP والذي يمثل مصدر الطاقة لعملية الامتصاص والانتقال الحيوي لايونات العناصر الغذائية . وفي الشكل (5-13) رسم افتراضي آخر موضحا الميكانيكية المكنة للـ ATPase (H^+ pump) كما بينها (Mengel and Kirbky 1982) نقلا عن (Mitchell, 1978).



شكل (5-13) نموذج أو موديل افتراضي (مضخة الهيدروجين H^+ pump) (ATPase) حيث يضخ $2H^+$ لكل جزيئة واحدة من الـ ATP الى خارج الخلية . عن : (Mengel and Kirbky, 1982)

إن الانزيم يتسبب في تغير في الـ pH خلال الغشاء نتيجة لضخ الـ H^+ الى خارج الخلية وبهذه الكيفية تصبح الخلية أكثر سالبية وكذلك اكثر قاعدية مقارنة بالوسط الخارجي . وهكذا يتولد فرق في الجهد عبر الغشاء يتكون من الجهد الكيمياوي نتيجة الاختلاف في تركيز ايونات الهيدروجين حيث يصبح تركيزها في الخارج أعلى من تركيزها في الداخل بسبب ضخ أيون الهيدروجين الى الخارج وكذلك من الجهد الكهربائي حيث يصبح الجزء الداخلي كما سبق أكثر سالبية بسبب ضخ الهيدروجين للخارج كما انها تصبح اكثر قاعدية . وهذا التغير في الجهد الكهروكيمياوي (Electrochemical potentiell) يمكن وصفه طبقا لما اشار اليه (Poole, 1978) بالمعادلة التالية :

$$pmf = -pH +$$

حيث ان

pmf (Proton Motive force)

هي القوة المحركة للبروتون (H^+) او التغير في الجهد الكهروكيمياوي لايونات الهيدروجين عبر الغشاء .

، pH هو الفرق بين تركيز ايونات الهيدروجين على جانبي الغشاء

، الفرق في الجهد الكهربائي خلال الغشاء

إن القوة المحركة للبروتون (pmf) هي القوة التي يتم بواسطتها نقل البروتونات (الكاتيونات) ضد التدرج في الجهد الكهروكيمياوي خلال الغشاء . وإن عملية النقل تمتلك كل الخصائص والصفات لعملية النقل الحيوي او الفعال والتي يمكن توضيحها بالتفصيل فيما يلي :

الطاقة اللازمة لعملية النقل تشتق من الـ ATP وكما يتضح من النموذج الافتراضي شكل ([illegible]) وان ضخ ايون الهيدروجين الى الخارج يتوقف على الامداد بالـ ATP وقد افترض انه يتم انتاج وضخ $2H^+$ لكل جزيئة واحدة من الـ ATP . وكقاعدة عامة فإن ضخ ايون الهيدروجين الى الخارج يؤدي الى تغير الـ pH عبر الغشاء وهكذا فإنه يلاحظ أن هذه العملية هي عملية عكسية للميكانيكية التي يتم فيها تكوين وانتاج الـ ATP في غشاء Thylakoid للبلاستيدة الخضراء (chloroplast) او في الغشاء الداخلي للمايتوكوندريا .

إن اساس عملية الضخ الايوني (H^+Pump) في النموذج الافتراضي يرتبط ارتباطا وثيقا بعملية الفسفرة الناتجة عن التناضح الكيمياوي (Chemiosmotic phosphorylation process) والتي وضعت في فترة سابقة من قبل العالم (Mitchell, 1966) والتي يمكن توضيحها كالآتي :

1) الخطوة الاولى توضح التفاعل للجزيئات المتحركة والافتراضية للغشاء وهي X^- و JO^- مع $2H^+$ والاتية من السايتوبلازم مكونة بذلك JOH, HX .

2) في الخطوة الثانية فإن HX ، JOH تعمل على تحلل الـ ATP الى ADP ، Pi ويتكون نتيجة لذلك المركب المعقد X–J

3) يلي ذلك تحلل المركب المعقد X–J مائياً ليتكون من جديد كل من HX ، JOH (الخطوة الثالثة)

4) في الخطوة الرابعة يفقد كل من HX ، JOH الهيدروجين الى خارج الغشاء ويتكون مرة اخرى X^- ، JO^- وهكذا يمكن أن تعاد الدورة وتبدأ مرة اخرى من جديد .

ان المحصلة النهائية لهذه الدورة هو تحرر $2H^+$ الى خارج الغشاء والمرتبطة بتحلل جزيئة واحدة من الـ ATP مائيا .

ويتضح نتيجة لهذه العملية هو نشوء وتكون فرق في الجهد الكيمياوي وكذلك فرق في الجهد الكهربائي على الغشاء كما يصبح الجانب الداخلي للغشاء اكثر سالبية وفي نفس الوقت اكثر قاعدية بعكس الجانب الخارجي الذي يصبح اكثر حامضية وتزداد في نفس الوقت شحنته الموجبة كما أشرنا الى ذلك سابقا . وبهذه الكيفية فان الكاتيونات تجذب الى داخل الغشاء اي الى السايتوبلازم وبالتالي فانها تقوم بمعادلة التغير في الجهد الناشيء عن تحلل الـ ATP .

إن هذا النوع من الامتصاص الكاتيوني يعتمد بدرجة كبيرة على نفاذية الغشاء (Memblane permeability) والتي تختلف بدرجة كبيرة باختلاف الكاتيونات وحيث إن الغشاء لا يكون نفاذا بصورة كاملة للايونات فان الكاتيونات تنتشر خلال القنوات او المسام (Channels) الموجودة في الغشاء (غشاء البلازما Plasmalemmo) بالتبادل مع الهيدروجين وتنتقل بذلك الكاتيونات من الوسط الخارجي الى السايتوبلازم وقد اطلق (Higinbotham, 1973) على هذه العملية اصطلاح التناضح الكهربائي (Electroosmosis) ومثل هذا الانتشار الايوني يسمى ايضا من قبل باحثين اخرين بالنفوذ الكهربائي .

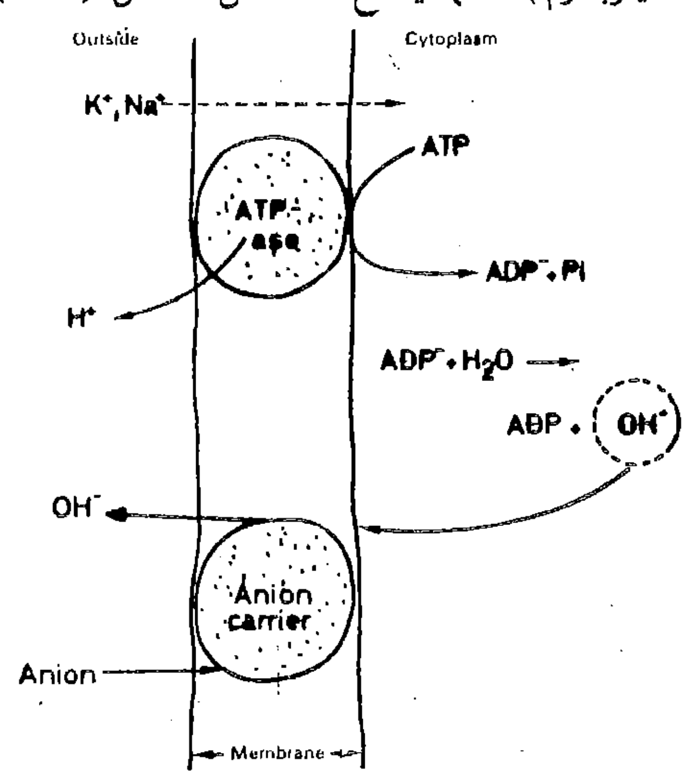
ويذكر أن الميكانيكية بحد ذاتها لاتسمح بالامتصاص الاختياري او الانتقائي حيث لايحدث تمييز بين انواع الكاتيونات مثل الـ K^+ او Na^+ بيد ان الغشاء الخلوي يمتلك كما اشرنا الى ذلك مسام او قنوات والتخصص (Specificity) للا

قد تكون في طبيعة المواد الكيمياوية المبطنة لهذه القنوات وهذه الكيمياويات هي عبارة عن مضادات حيوية (antibiotics) ربما تتفاعل اختياريا مع بعض الايونات اي انها تسمح بانتشار ايون معين دون آخر ومثل هذا الانتشار الانتقائي اطلق عليه الانتشار الميسر (Facilitated diffusion) ومثل هذا الامتصاص الاختياري الميسر هو انتشار البوتاسيوم الذي يحفز بوجود مادة الـ (Valinomycin) .

ويرتـأي (1976, Rather and Jacoby) ان المعـدل العـالي لامتصـاص البوتاسيوم يمكن ان يعزى الى نشاط الـ ATPase الميسر لانتشار البوتاسيوم خلال خلايا النبات . إن مثل هذا النوع من الامتصاص هو امتصاص حر او سلبي للبوتاسيوم ، غير ان هناك دلائل اوضحت ان البوتاسيوم يمكن أن يمتص ايضا حيويا اي نتيجة بذل طاقة من قبل النبات الحي .

اما امتصاص الانيونات فلا يمكن تفسيرها على انها تتم بعملية الامتصاص السلبي او الحر لانها محملة بشحنات سالبة ويجب التغلب على شحنة الجدار الخلوي وغشاء البلازما السالب الشحنة ايضا . ومع ذلك فهناك اقتراحات وافتراضات على امكانية تبادل الانيونات في الوسط الخارجي مع الـ OH^- ، HCO_3^- .

كما ان (1873, Hodges) قد افترض نموذجا اخر لتفسير كلا من الامتصاص الكاتيوني والانيوني من الوسط الخارجي ودخولها الى المحلول الداخلي للنبات (السايتوبلازم) ، كما يتضح ذلك من الشكل (5-14) المقترح من قبله .



شكل (5-14) فرضية الضخ الايوني (H^+Pump) بواسطة الـ ATPase والمرتبطة بالحامل الانيوني . محورة عن (Hodges, 1973) .

وفـي تجـارب سابقـة أوضـح كـل مـن (1970 Fischer **et al.,**) (**1972 Hodges et al.,**) وجود ارتباط وثيق بين نشاط انزيم الـ Pase ومعدل الامتصاص الايوني . وهذه الملاحظات تقترح بقوة بان الـ ATP هو ا للطاقة للانتقال الايوني وان الـ ATPase لغشاء البلازما يجهز الطاقة اللازمة الـ ATP واللازمة لعملية النقل هذه .

من المعتقد ان الغشاء الذي يحتوي على الـ ATPase يعمل على فصل ATP الى ADP^- وكاتيون الفسفور . ان كاتيون الفسفور هذا غير ثابت وس ما يتفاعل مع الماء محررا ايون H^+ طبقا للمعادلات الاتية :

$$ATP \xrightarrow{ATPase} ADP^- + O = P(OH)_2^+$$

physphoryl cation

$$) = P(OH)_2 + HOH \longrightarrow O = \underset{\substack{1 \\ OH}}{\overset{\substack{OH \\ 1}}{P}}\text{-}OH + H^+$$

ان ايون الهيدروجين سيتحرر الى الوسط الخارجي للخلية اي انه يف الخارج ويتولد عن ذلك تغير في الـ PH عبر الغشاء . اما الانيون ADP^- ي السايتوبلازم ويؤدي الى رفع الجهد الكهربائي السالب للخلية بدرجة اعلى مز الكهربائي السالب الموجود في الوسط الخارجي حيث يتحلل الـ ADP^- والذي ينتج عنه تكون الـ OH^- والذي يبقى في السايتوبلازم وهو الذي ي زيادة الجهد الكهربائي السالب للخلية مقارنة بالجهد الكهربائي السالب الخارجي . وهذا ماوجد بالفعل في الخلية النباتية الحية التي تكون محملة سالبة بدرجة اعلى من الوسط الخارجي . ولقد وجد ان الفرق في الجهد ا السالب بين الخلية والوسط الخارجي هو بحدود (60 الى 160 مليفولت) ان الخلية سالبة الشحنة فانها تقوم بجذب الكاتيونات والتي تتبادل مع الهب وهي نفس الفكرة المقترحة من قبل (1966 Mitchell) والتي ينطبق عل فكرة الانتشار الميسر . اما بالنسبة للانيونات فقد اقترح هود جزبان الهيدروكسيل OH^- الناتجة من تحلل الـ ADP^- تقوم بجلب الحامل (Anion carrier) وبذلك يحفز الامتصاص الانيوني الاختياري عن طري مع الـ OH^- .

وبالاضافة الى ذلك فإن الرقم الهيدروجيني يرتفع (نتيجة استهلاك H^+ وتكوين OH^-) نتيجة عمليات الـ (Decarboxylation) التي تحدث للانيونات العضوية التي ينتج عنها استهلاك الـ H^+ كما يتضح ذلك مما يلي :

$$\begin{array}{lll} \boxed{COO^- + H^+} & & \\ | & & \\ CH_2 & \rightarrow\ CH_3 & \\ | & \quad\ | & \\ C=O & \quad\ C=O & + CO_2 \\ | & \quad\ | & \\ COOH & \quad\ COOH & \end{array}$$

Decarboxylation

كما انه في النباتات النامية والمغذاة بصورة الـ $(N{-}NO_3^-)$ ونتيجة لاختزالها بداخل النبات ينتج عنها كذلك ايون الـ OH^- وبذا فإن النبات يقوم بامتصاص الانيونات بوسيلة اخرى دون تدخل انزيم الـ ATPase . ولذلك فقد اقترح انه في حالة عدم وجود عملية الفسفرة فإن امتصاص الكاتيونات يتأثر بدرجة اشد من تأثر امتصاص الانيونات نتيجة لزيادة افراز ايونات الـ OH^- اكثر من الـ H^+ على جذور النباتات (Kirby 1969) و (Hodges 1973) .

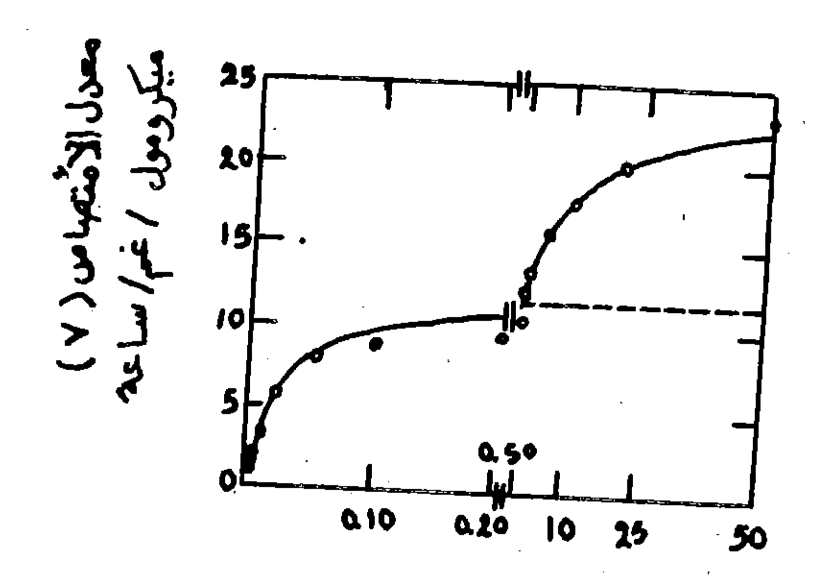
10.5 ـ الطريقتان الميكانيكيتان للنقل الحيوي للايونات المعدنية :

The Dual mechanisms for active transport of ions

1.10.5 فكرة عامة

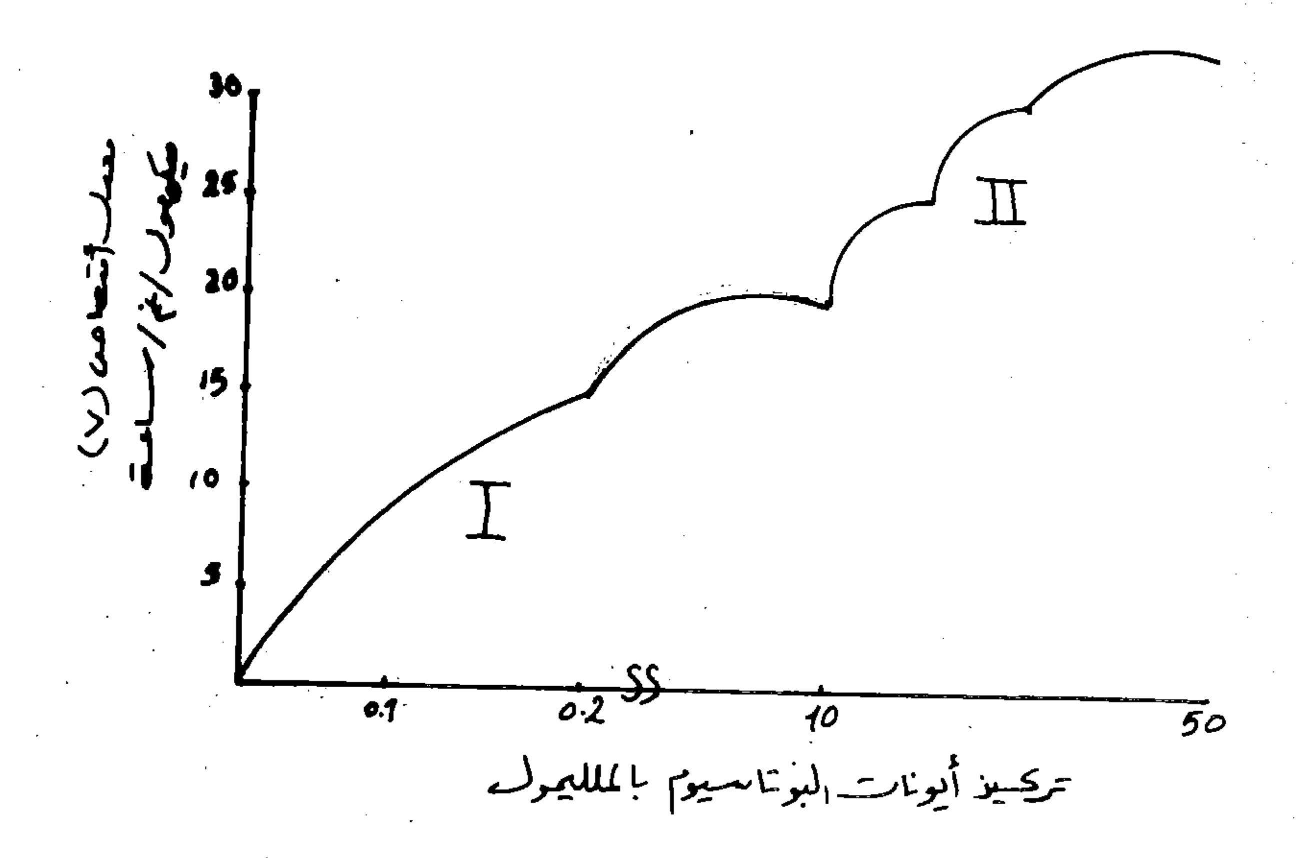
عند دراسة العلاقة بين سرعة انتقال البوتاسيوم وتركيزه في وسط النمو بحيث كان التركيز لايزيد عن 0.2mM . لوحظ ان سرعة الانتقال تزداد في البداية بدرجة أكبر مع زيادة التركيز ثم تقل السرعة بعد ذلك تدريجيا مع زيادة التركيز ومع استمرار زيادة التركيز تقل السرعة أيضا بدرجة اقل الى أن تصل السرعة الى حدها الاقصى للانتقال وبعد ذلك عندما يزداد التركيز بحيث لايتجاوز 0.2mM فان ذلك لايكون له أي تأثير على السرعة القصوى وبمعنى آخر أن زيادة التركيز الى الحد 0.2mM لايؤدي الى أية زيادة واقصى سرعة للانتقال هي السرعة القصوى وعند هذا الحد من التركيز تنطبق عليها معادلة (Mechaelis-Menten Kinetic) . ولكن ماذا يحدث في الامتصاص لو زدنا التركيز عند هذا الحد بحيث نصل الى 50mM .

لقد وجد فعلا حدوث زيادة في السرعة تفوق السرعة القصوى Vmax وحصل انكسار في منحني السرعة مابين 0.2-0.5 mM وهذا يدل على ان هناك اكثر من ميكانيكية لانتقال الايونات. الميكانيكية الاولى تحدث في التراكيزات المنخفضة حتى حدود 0.2mM ثم هناك ميكانيكية ثانية تحدث في التركيزات العالية (الاعلى من 0.2mM وعادة اعلى من 1mM) كما في الشكل (16-5).



شكل (16-5) توضيح معدل امتصاص البوتاسيوم (v) كدالة لتركيز KCl في المحلول. وتركيز $CaCl_2$ 0.5 mM، K_m وهو الثابت في معادلة Mechaelis-Menten كان 0.021 mM ، السرعة القصوى ax هي 11.9 mole/g fr. w./hr.
عن : (Epstein et al, 1963).

ويظهر ان الميكانيكية الثانية تختلف عن الميكانيكية الاولى حيث الميكانيكية الاولى تظهر في التركيزات المنخفضة كما تبين سابقا في حين الميكانيكية الثانية تحصل في التركيزات الاعلى أي مابين (1-50 mM) ل وسط النمو. كما يبدو أن الميكانيكية الثانية قد تظهر بشكل متقطع وهذا على أن الحوامل الناقلة للايونات أو الايون قد تمتلك أكثر من موقع فعال ive Site حيث أن كلا منها يصبح فعالا لنقل الايون عند تركيز معين. ويكون سرعة الامتصاص هو حاصل جمع سرعة الامتصاص للميكانيكيتين الاولى وا كما في الشكل (17-5).



شكل 5-17) معدل امتصاص ايونات البوتاسيوم بواسطة جذور الشعير ويظهر ان الميكانيكية I تحدث في التركيزات المنخفضة في حين أن الميكانيكية II تحدث في التركيزات العالية وبشكل متقطع ؛ عن (Epstein et al., 1963)

ويبدو أن الامتصاص بواسطة الميكانيكية الاولى يكون **اختياريا ومتخصصا** بحيث أن الايونات سواء اكانت متشابهة كيمياويا مثل K^+ ، Na^+ **او حتى المختلفة** مثل K^+ ، $(Li^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})$ لاتؤثر على امتصاص البوتاسيوم **عند تواجدها** في وسط النمو ، بينما الامتصاص بواسطة الميكانيكية الثانية تكون **غير متخصص** بمعنى انها غير اختيارية او غير انتقائية او ان قدرتها على **الاختيارية تكون اقل** وهذا يرجع الى أن المادة الحاملة قد تحتوي على عدة اماكن **فعالة متخصصة كل** منها يعمل عند تركيز معين ولا يشترط ان تكون **متخصصة او اختيارية لهذا** العنصر الامر الذي يؤدي الى حدوث منافسة او تداخل **للايونات مع الايون موضع** الدراسة . كما يبدو أن الانيون المصاحب او المرافق للبوتاسيوم **لايؤثر في امتصاص** البوتاسيوم بواسطة الميكانيكية الاولى في حين انه **قد يؤثر على امتصاصه عند** الميكانيكية الثانية .

2.10.5- مكان عمل الميكانيكيتين Location of the mechanisms

إن القبول بوجود ميكانيكيتين مختلفتين لامتصاص الايونات حيويا دعت الباحثين لاجراء التجارب الكثيرة لمعرفة مكان عملها بالنسبة لاغشية الخلية المختلفة . وعلى ضوء هذه الدراسات فقد تبين أن الميكانيكية الاولى تعمل في غشاء البلازما حيث وجد أن هناك الفة قوية للايونات الممتصة والموجودة بتركيز واطيء في محلول التربة كأيونات البوتاسيوم والتي يرتأي العلماء أن على هذه الايونات أن تخترق اولا غشاء البلازما لكي تصل الى المحلول الداخلي (السايتوبلازم) للخلية النباتية .

ومن الدالائل المؤيدة لوجهة النظر هذه من أن الميكانيكية الاولى تعمل في غشاء البلازما هي النتائج التي وجدها الباحث Viets حيث لوحظ ان وجود الكالسيوم في وسط النمو الخارجي هو الذي يحفز ويزيد من محصلة امتصاص البوتاسيوم كما سبق ذكره كما ان غياب الكالسيوم في محلول التربة او الوسط الخارجي يقلل من الاختيارية (Selectivity) للبوتاسيوم مما يعرقل عملية امتصاصه .

أما الميكانيكية الثانية فهي لاتزال قيد الدراسة حيث ان هناك آراء مختلفة بصددها فبينما يفترض (Epstein et al, 1963) بوجودها في غشاء البلازما وإنه تعمل بالتعاون والتكامل مع الميكانيكية الاولى والمتواجدة أيضا في غشاء البلازم يقترح (Osmond and Laties, 1968) بان الميكانيكية الثانية تعمل في غشا الفجوة (Tonoplast) .

ومن هذا فإنه يستنتج بأن الميكانيكيتين إما ان تعملان بالتوازي (Parallel) في غشاء البلازما حيث تعمل الميكانيكية الاولى في التركيز المنخفض والثانية التركيز العالي . او بالتعاقب (Series) حيث تعمل الميكانيكية الاولى في غش البلازما عند التركيز المنخفض بينما تعمل الميكانيكية الثانية على التعاقب في غش الفجوة (التونوبلاست) في التركيز الاعلى كما يتضح ذلك من الشكل (5-18)

غشاء البلازما

غشاء الفجوة السايتوبلازمي

الفجوة العصارية

Mech. II

II

تركيز عالي

(Parallel)

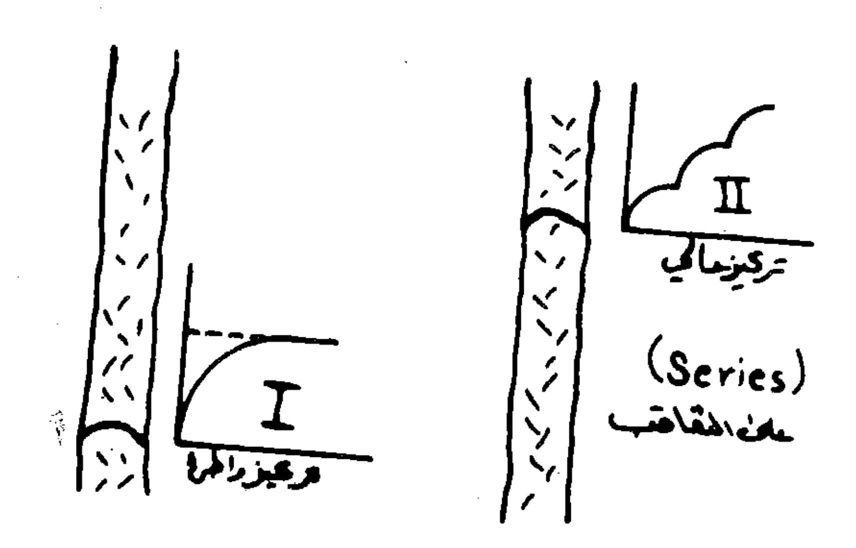
على التوازي

Mech. I

I

تركيز واطئ

انتقال الأيونات على التوازي في غشاء البلازما



انتقال الأيونات على التعاقب في غشائي البلازما والتونوبلاست (غشاء الفجوة)

شكل (18-5) توضيح مكان عمل الميكانيكيتين بالتوازي (Parallel) في الجزء العلوي من الشكل بالتعاقب (Series) في الجزء السفلي من الشكل عن :(Epstein , 1972)

11.5 ـ انتقال المغذيات المعدنية بالنسغ الصاعد والنسغ النازل

أقترح بعض الباحثين (1931, Maskell, Mason) وكذلك Mason و Mashell و 1936, Phiddis إن ايونات العناصر المعدنية تنتقل الى الاعلى في النبات عن طريق النسخ الصاعد الذي يحصل بتأثير النتح فتصل الى الاوراق ومن ثم تنقل الكميات الزائدة منها الى الاسفل عن طريق النسغ النازل في اللحاء . ونظرا لأن الايونات المعدنية قد تنتقل جانبيا من اللحاء الى الخشب ففي هذه الحالة يحصل لها انتقال الى الاعلى مرة اخرى وهذا ما يحصل بسهولة بالنسبة لبعض العناصر مثل النتروجين والبوتاسيوم والفسفور . اما بالنسبة للكالسيوم فأنه ينتقل الى الاعلى بواسطة الخشب ولكنه لايعود للانتقال الى الاسفل بواسطة اللحاء .

لقد أوضح Biddulph (1941) وكذلك Biddulph وآخرون (1958) أ عنصر الفسفور ذو انتقالية عالية في النبات واقترحوا لهذا العنصر دورانا مستمر بحيث ان ذرة معينة من الفسفور يمكن ان تكمل عدة دورات كاملة في النبات يوم واحد (1959, Biddulgh) . وبالنظر الى ان الفسفور يكون مشاركا بالضرور في كثير من الفعاليات الميتابوليكية المهمة مثل التركيب الضوئي، تكوين النشأ التحلل السكري (Glycolysis) ، وتكوين الدهون والبروتينات والحوامض النوو وغيرها فان النبات يحتاج الى الفسفور في المناطق المختلفة التي تحصل فيها ه الفعاليات ولذلك فقد اقترح 1959, Biddulgh ، وجود مجمع (Pool) الفوسفور الجاهز للاستعمال خلال النبات بأكمله وبتركيز متجانس نسبيا .

أما الكبريت فيكون قابلاً للانتقال في النبات ولكن بالنظر لاستعماله السريع تكوين المركبات الميتابوليكية فلا يحصل له دوران في النبات كما يحصل بالن للفسفور . فمثلاً عندما يتم امتصاص الكبريت المشع من جذور نبات الفاصوليا ينتقل بسرعة الى الاعلى بواسطة النسغ الصاعد في الخشب (Biddulgh وآخر 1958) وخلال اربع وعشرون ساعة يكون معظم الكبريت المشع موجوداً الاوراق الفتية حيث ينتقل الكبريت من الاوراق البالغة الى الاوراق ال النامية بسرعة . ولما كان الكبريت يدخل في تركيب البروتين وإن عملية ت البروتين تحصل بدرجة اكبر في الاوراق الفتية مقارنة بالاوراق البالغة في الافتراض بأن هذا يؤدي الى انتقال الكبريت ومسكه ميتابوليكيا في الا الفتية النامية .

كذلك وجد Biddulgh وآخرون (1958) ان الكالسيوم المشع عندما يتم امتصاصه من قبل جذور نبات الفاصوليا فأنه ينتقل الى الاعلى بواسطة النسغ الصاعد الى المناطق المختلفة من النبات . ولكن الكالسيوم قليل الانتقال في اللحاء ولذلك فانه يبقى ثابتا تقريبا في النسيج الذي ينتقل اليه بواسطة النسغ الصاعد .

هذا وتوضح الدراسات المذكورة ان دوران العناصر المعدنية في النبات يحصل بأربعة أتجاهات عامة للحركة : نحو الاعلى ، نحو الاسفل ، جانبيا ، والى خارج النسيج . وبالنسبة للانتقال الى الاعلى فأنه يحصل بصورة رئيسية في نسيج الخشب ولو ان بعضا من هذا الانتقال قد يحصل أيضا في لحاء أنسجة قمة النبات . أما الانتقال الى الاسفل فيتم في نسيج اللحاء ولذلك يقال عادة عن الانتقال في اللحاء بأنه ثنائي الاتجاه Bidirectional . أما الانتقال الجانبي فيحصل بين الخشب واللحاء ويظهر ان الكامبيوم يلعب دورا في ذلك . كذلك فان حركة العناصر المعدنية الى خارج الاوراق تحصل في كثير من الحالات وبصورة خاصة قبل سقوط الأوراق ويحصل هذا الانتقال خلال اللحاء ايضا .

12.5 ـ العلاقة بين معدل الامتصاص وتركيز الايون في المحلول المغذي

إن معدل الامتصاص لأي أيون يعتمد على تركيزه في الوسط الغذائي وهذه العلاقة كما ذكرت تكون على شكل منحني (Asymptotic Curve) وليست على شكل خط مستقيم . إن العالمين (1952 Epstein and Hagen) قد شبها المركب الحامل (Carrier) الذي ينقل الايون عبر الغشاء الخلوي بالانزيم والذي يمتلك العديد من الاماكن او المواقع الفعالة (Binding Sites) او (Active Sites) والتي تحتل من قبل ايونات العناصر الغذائية (1969 Persson) وان مدى إحتلال او اشغال الاماكن النشطة يعتمد على تركيز الايونات في الوسط الخارجي لنمو جذور النبات .

ولهذا فان الطاقة الحركية المنشطة التي تسمى (Michaelis-Menten Kinetics) يمكن ان تدخل في عملية الامتصاص الايوني .

فاذا قورن الايون الممتص بالمادة الخاضعة لفعل الانزيمات كما قورن الحامل مع الانزيم وبتطبيق معادلة Michaelis-Menten نحصل على

$$V = \frac{V_{max}\ [S]}{K_m + [S]} \quad (1)$$

حيث ان V = سرعة التفاعل الحيوي او معدل الامتصاص والذي يقاس بالميكرومول/ غم من المادة الطرية/ ساعة

(Micro mole/g fresh weight/Hour)

، V_{max} = السرعة القصوى (Micro Mole/g/hr)

، [S] = هي تركيز المادة المتفاعلة او تركيز الايون الممتص بوحدة مليمول (nM)

K_m = ثابت معادلة Michaelis-Menten هو تركيز المادة الاولية (Substrate) او تركيز الايونات الممتصة التي تعطي نصف (اي 50%) السرعة القصوى من التفاعل او الامتصاص أي

. ($1/2\ V_{max}$)

ولنفرض ان معدل الامتصاص (V) يساوي ($1/2 V_{max}$) لذلك بالتعويض عن (V) بقيمتها الجديدة ($1/2\,V_{max}$) في معادلة (1) نحصل على الآتي.

$$V_{max} = \frac{V.[S]}{K_m + [S]} \qquad (2)$$

وبحل المعادلة نحصل على

$$V_{max}.[S] = 1/2\ V_{max} . [K_m + [S]]$$

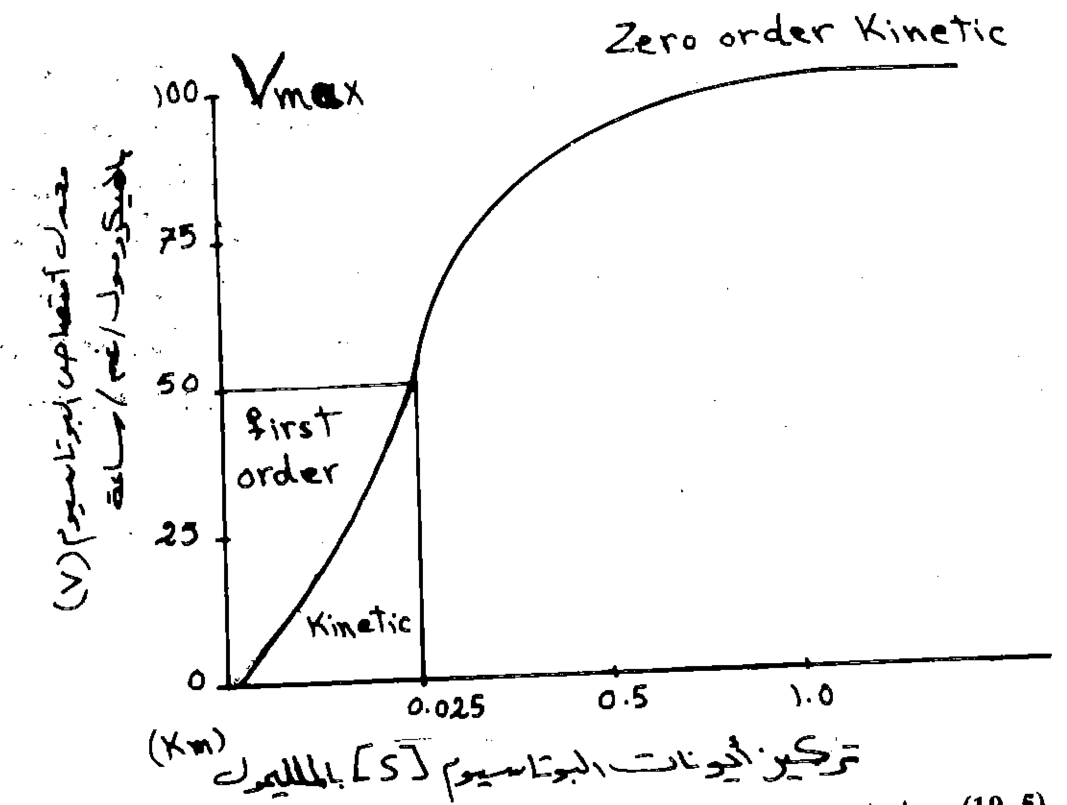
$$\therefore\ 2\,[V_{max}\,[S]] = V_{max} . [K_m + [S]]$$

وبالاختصار يكون $2\,[S] = K_m + [S]$

$\therefore\ K_m = S$

وهذا يعني ان الثابت K_m يساوي تركيز المادة الاولية او تركيز الايونات اللازمة للحصول على نصف السرعة القصوى من التفاعل او نصف معدل الامتصاص الاعظم.

ومما تجدر الاشارة اليه ان معادلة Michaelis-Menten قد ترسم بعدة اشكال غير ان اكثرها شيوعا هو المبين في الشكل (5-19).



شكل (5-19) معدل امتصاص البوتاسيوم بواسطة جذور الشعير يزداد بازدياد ايونات البوتاسيوم في الحلول المغنوي ، كما يبين Km. عن : **(Conn and Stumpf, 1967)**

ويتبين من الشكل انه في حالة التراكيز المنخفضة من الايونات [S] تكون علاقة سرعة الامتصاص (V) وتركيز ايونات البوتاسيوم كعلاقة الخط المستقيم وهذا مايطلق عليه في الكيمياء الفيزياوية (First Order Kinetics) (Andrews, 1970).

وحيث ان

$$V = \frac{d\,[S]}{d\,t} = K\,[S]$$

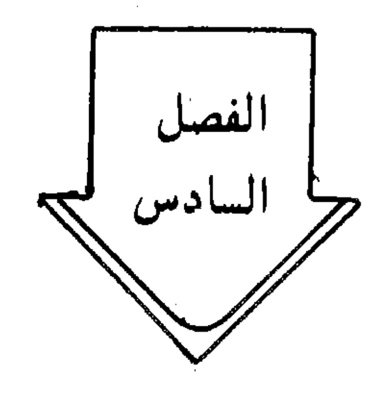
وبما ان $\frac{d[S]}{dt}$ عبارة عن سرعة الامتصاص (V) لذلك يكون $V = K[S]$ حيث K هي كمية ثابتة .

وهذا يعني ان معدل الامتصاص (V) يساوي كمية ثابتة (K) مضروبا في التركيز [S] في حالة التركيزات الواطئة . اما عندما يصبح تركيز الايونات عاليا فعندئذ ينعدم تأثير التركيز [S] ويصبح

$$\frac{d\,[S]}{dt} = K$$

اي ان $V = K$

أي ان معدل الامتصاص (V) يصبح غير معتمد على تركيز الايونات وهنا يحصل معدل الامتصاص الاعظم او السرعة القصوى V_{max} وتصبح كل المواقع الفعالة للمادة الحاملة قد تشبعت بالايون ، وفي هذه الحالة يرى (Barber 1979) ان معدل دخول الايون عبر الغشاء الحيوي (Influx) يساوي تماما معدل خروجه (Efflux) لانه لا يمسك بالحامل لعدم وجود مواقع فعالة فارغة وهذا مايطلق عليه (Zero order Kinetics) كما يتضح من الشكل (5-19) السابق .



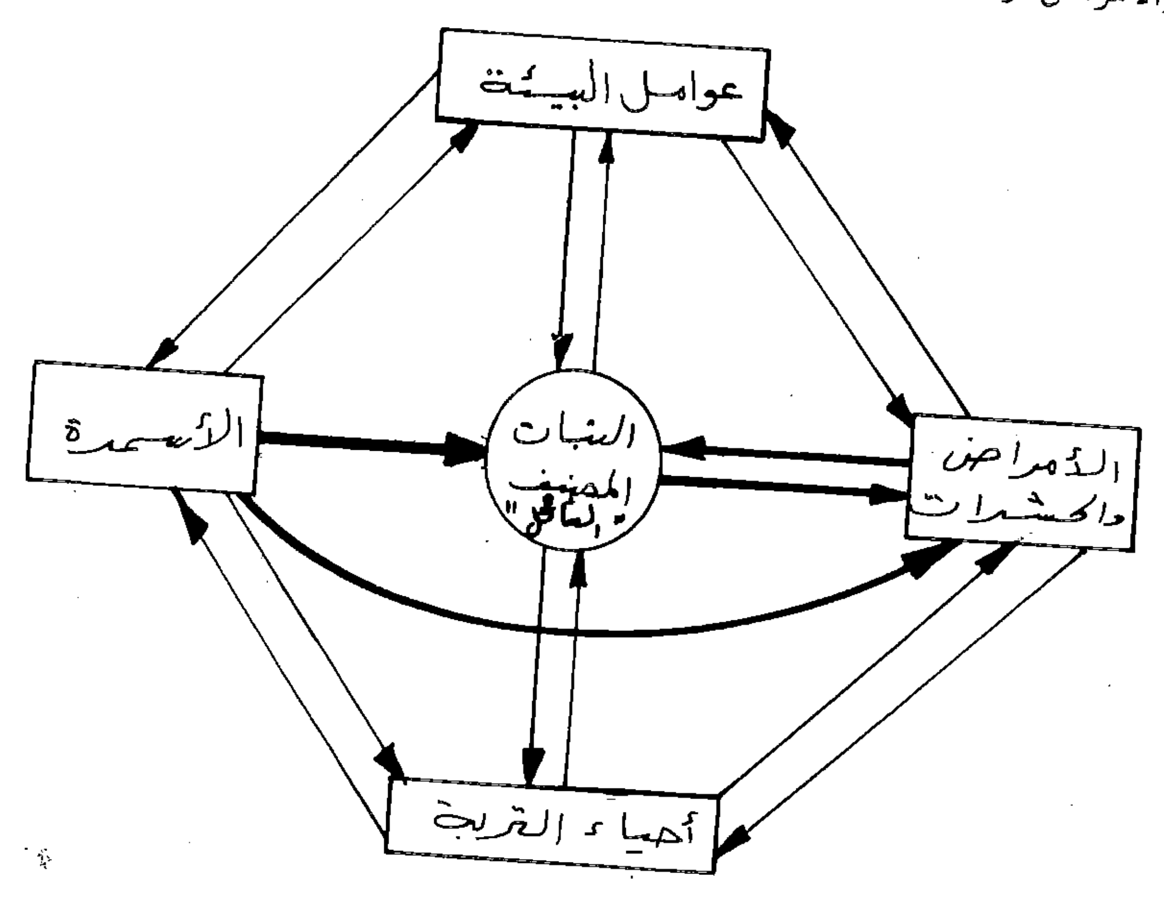
التغذية المعدنية ومقاومة النباتات او حساسيتها للاصابة بالامراض والافات الضارة الاخرى

1.6 فكرة عامة

عندما يتناول المرء المشاكل الناجمة عن النقص بالعناصر الغذائية أو زيادتها بالنسبة للنباتات يمكن القول بوجود علاقات عديدة ومختلفة بين التغذية المعدنية وبين مقاومة النباتات أو عدم مقاومتها للأصابة بالامراض والحشرات . ان ذلك لا يرجع فقط لامكانية حصول التباس في التمييز بين الأعراض المتسببة عن سوء التغذية النباتية وبين الأعراض المشابهة لها والمتسببة عن اصابة النباتات بالامراض الطفيلية والحشرات ولكن ايضا لوجود علاقات متبادلة وتأثيرات معقدة مابين التغذية بالعناصر المعدنية وبين الكائنات الحية المسببة للأضرار على النباتات .

ويشير العديد من الباحثين الى أن سوء التغذية النباتية بمعنى وجود العناصر الغذائية في محلول التربة أو في داخل النبات بشكل غير متوازن يجعل النبات يعاني من النقص أو السمية بعنصر غذائي أو أكثر مما يخلق ظروفا مناسبة ومساعدة لأنتشار الأمراض والآفات الضارة الاخرى لما تحدثه من اختلال في التفاعلات الحيوية المختلفة التي يقوم بها النبات حيث ينتج عنه تكون مادة أو اكثر تحفز نمو وانتشار الطفيلي . فقد اشار (Schäufele, 1978) الى وجود علاقة وثيقة بين الاصابة بالامراض والآفات الضارة والتغذية المعدنية من حيث كيفية وموعد اضافة الاسمدة الكيمياوية وكذلك من حيث كمياتها وأنواعها .

وجاءت نتائجه مطابقة لما طرحه (Meyer, 1970) من أن مقاومة النباتات يمكنها أن تتأثر سلباً أو ايجابا بعوامل البيئة المحيطة والتي منها التغذية المعدنية. ففي الشكل (6-1) رسم تخطيطي لتوضيح التأثيرات المتبادلة الممكنة والتي قد تحدث بين التسميد، النبات العائل، عوامل البيئة المحيطة، أحياء التربة والأمراض والآفات الضارة الأخرى.



شكل (6-1) رسم تخطيطي يوضح التأثيرات المعقدة مابين التسميد – النبات العائل – عوامل البيئة المحيطة – أحياء التربة – الأمراض والحشرات عن : **(Bergmann, 1983)**

ويقصد بالمقاومة كما عرفها (Fuchs and Grossmann, 1972) بأنها قدرة النباتات على تحمل العوامل الخارجية بحيث تنمو نموا صحيحا خاليا من الاصابة لتعطي أعلى حاصل وأجود نوعية وبأقل التكاليف. ومما تجدر الاشارة اليه أن المناعة المكتسبة أو الحساسية لأضافة الأسمدة الكيمياوية تتوقف على جنس ونوع النبات أذ أن العوامل الوراثية تلعب دورا مهما في ذلك فقد بين (Ranga Reddy **et al.,** 1975) أن زيادة اضافة السماد البوتاسي لم تكن لها أي تأثير على صنف الرز "T (N)1" الشديد الاصابة بمرض تبقع الأوراق

(Xanthomonas oryzae) في حين بالنسبة للأصناف الأقل حساسية للأصابة بهذا المرضْ مثل "IR8" فإن الإصابة قلت بها . ومما تجدر ملاحظته أن أوراق الصنف "T(N)1" تحتوي على تراكيز عالية من المركبات الفينولية ومن السكريات المختزلة وغير المختزلة ومن الأحماض الأمينية مقارنة بالصنف "IR8" في حين أن نقص البوتاسيوم في كلا الصنفين قد أدى الى زيادة هذه المركبات . ولذلك يجب أن يوضع بعين الأعتبار أن النقص أو الزيادة بالعناصر الغذائية تؤثر في مدى اصابة النباتات بالامراض والحشرات . وكذلك اشار (Strachow and Jaroschenko 1958,) الى أن اختيار نوعية المغذيات من شأنها تثبيط النمو وعرقلة العلاقات المتبادلة بين النبات والطفيلي والتي تعمل على خلق وتهيئة الظروف الملائمة والتي تجعل النبات مقاوما للطفيلي .

إن ..حدث لهذا النبات والطفيلي ومعرفة الاسباب الحقيقية التي مكنت النبات من مقاومة هذا الطفيلي ومنعت من ظهور اعراضه على النبات أو في حالة اصابة النبات وظهور أعراضه ومعرفة الاسباب التي أدت الى الاصابة به يمكننا من الحصول على معلومات قيمة وجيدة في امكانية اختيار أفضل الطرق والوسائل في كيفية التعامل مع الاسمدة الكيمياوية والتي يكون من شأنها تخفيف أو تقليل أو حتى منع الاصابة بمثل هذه الامراض او الآفات الضارة .

ولاشك أن النباتات المغذاة بصورة كافية ومتوازنة من العناصر الغذائية تكون مناعتها ومقاومتها للاصابة بالامراض والحشرات أفضل من النباتات التي تعاني من النقص بأحد العناصر الغذائية او المغذاة من جانب واحد (بمعنى التغذية بأضافة سماد كيمياوي يحتوي على أحد العناصر الغذائية مع اهمال العناصر الغذائية الاخرى) او النباتات التي تعاني من السمية بعنصر غذائي معين . فنمو النباتات المغذاة من جانب واحد لايكون غير صحي فحسب ولكن يحدث فيها اختلال في تفاعلاتها الايضية وتكون اكثر عرضه للاصابة بالبكتريا والفطريات والحشرات والفيروسات .

فقد اوضح (Primavesi 1969) أن النبات المغذى تغذية جيدة يكون نموه أفضل ونادرا ما يتعرض للاصابة بالامراض والحشرات .
وهناك اشارات واضحة بهذا الخصوص حيث نشر (Perrenoud 1977) بحثه الموسوم « البوتاسيوم وصحة النبات » كما ان هناك دراسة في مجلة معهد البوتاسيوم الدولي (Intern. potash Institue 1976) تحت عنوان « استخدام السماد وصحة النبات » .

ونود هنا أن نشير الى ماذكره (Grossmann، 1970) و (Fuchs، 1972 and Grossmann) حول العلاقة بين الاسمدة ومقاومة النباتات للمسببات المرضية والحشرية كما يلي : —

1 ـ هناك تأثير للاسمدة على درجة تفاعل التربة (pH) مثل الامونيا واليوريا والكبريت وهذه تؤدي الى قتل الكثير من المسببات المرضية ومنها الامراض الفيروسية .

2 ـ الاسمدة العضوية والتي من شأنها زيادة نشاط احياء التربة فقد تؤدي الى انتاج بعض المضادات الحيوية (antibiotics) والتي قد تفتك بأنواع مختلفة من المسببات المرضية والآفات الضارة الاخرى .

3 ـ النباتات المغذاة تغذية جيدة ومتزنة تكون قدرتها أعلى للتغلب على التقلبات البيئية المفاجئة كهبوب الرياح او سقوط الامطار بغزارة او التعرض للبرد والصقيع .

4 ـ إن ما تحدثه التغذية المعدنية من تغيير في التركيب المورفولوجي أو النسيجي كأن يحدث تقوية لطبقة الكيوتيكل أو ترسيب السليكا في الانسجة او تقليل نفاذية الانسجة او زيادة الشعيرات في طبقة البشرة يكون بلاشك له دور في رفع مناعة النباتات وقلة تعرضها للاصابة بالامراض والحشرات .

5 ـ قد يكون للاسمدة تأثير على العوامل المؤثرة في التفاعلات الحيوية كمثبطات ومحفزات النمو كالهرمونات النباتية .

6 ـ قد يكون للتغذية المعدنية دور في انتاج مضادات حيوية للفطريات والتي قد تتكون بواسطة الفطريات نفسها او نتيجة للتفاعلات الحيوية للنبات نفسه .

7 ـ الموت السريع الذي يحدث للخلايا والانسجة النباتية حول المنطقة المصابة نتيجة لحساسيتها المفرطة يقلل فرصة انتشار المرض الى الانسجة السليمة المجاورة .

8 . بناء طبقة فلينية حول المنطقة المصابة يقلل أيضا فرصة انتشار المرض .

وبالرغم من الدراسات العديدة والبحوث التي كتبت أو نشرت فيا يخص العلاقة بين التغذية المعدنية ومقاومة النباتات للأمراض والحشرات فإنه ليس بوسعنا حاليا الخروج بصورة واضحة ومتجانسة عن تأثير العناصر الغذائية مجتمعة (التغذية المتكاملة) او كل منها على انفراد ومدى المناعة التي تسببها للنبات بالرغم من وجود مؤشرات في ذلك .

صحيح أن اضافة الاسمدة تؤدي الى زيادة الحاصل وتحسين نوعيته ولكن حاليا هناك اتجاه لمعرفة تأثير هذه الاضافات على تلوث البيئة (تقريبا كما هو الحال نتيجة للتوسع في استخدام المبيدات). ويجب أن يكون الهدف والمبدأ من اضافة الاسمدة

الكيمياوية هو حاجة النباتات فقط بحيث لاتمثل تلك الاضافات نقصا او سمية بها لرفع كفاءة النباتات لمقاومة الامراض والحشرات او تحملها لظروف البرد او الجفاف كما يجب أن يراعى فيها محتوى النباتات من العناصر الغذائية والمركبات العضوية وغير العضوية الناتجة عنها لكي تفي بحاجة الانسان او الحيوان الذي يتغذى عليها وحتى لاتكون سامة أو ضارة له. وعلى هذا الاساس فان الاتجاه الذي كان سائدا في الماضي وهو استخدام كميات عالية من الاسمدة الكيمياوية لايمكن القبول به حاليا ويحتاج الى اعادة النظر فيه والى اجراء الدراسات والبحوث والتفكير من جديد لبحث العلاقات والتأثيرات المختلفة والمتبادلة بين التغذية المعدنية ومقاومة النباتات للامراض والحشرات من وجهة نظر جديدة ومغايرة لما كان متبعا في الماضي.

والسؤال الذي يطرح نفسه الآن هو هل هناك علاقة بين التغذية المعدنية او بين محتوى النباتات من العناصر الغذائية والمناعة او الاصابة بأمراض او حشرات معينة دون غيرها؟ ومحاولة معرفة الاسباب الفعلية في ذلك للتمكن من وضع سياسة صحيحة لاضافة المغذيات النباتية والذي من شأنه تفادي او على الاقل تقليل الاصابة بها. واذا ما ادرك الدور الكبير والمتعدد الجوانب الذي تلعبه العناصر الغذائية في حياة النبات فانه من السهولة ان نتصور أن للتغذية المعدنية دور ما في رفع قدرة النبات لمقاومته للامراض والحشرات او تعرضه للاصابة بها. كذلك لايوجد ادنى شك من ان التغذية الجيدة والمتزنة تؤدي الى نمو نباتات سليمة خالية من الاصابة. وهذا يتضح اذا ما علمنا انه في الخلية النباتية الواحدة يوجد آلاف الانزيمات والتي طبقا للشفرة الوراثية تعمل معا او على التعاقب. ومن المعروف أن هذه الانزيمات لايمكن أن تتكون او تعمل في حالة نقص أو غياب العناصر الغذائية. وطبقا لما ذكره (Voisin و1959) فإن العناصر الغذائية وخاصة العناصر الغذائية الصغرى تلعب دورا هاما في ميكانيكية التفاعلات المسؤولة عن الدفاع عن النبات فهي اما ان تدخل مباشرة في تكوين الانزيم او انها ضرورية لنشاطه كدخولها في مرافقات الانزيمات. وعلى هذا الاساس فهي تعمل كمحفزات او مثبطات للنمو.

ولكي تحدث الاصابة بالامراض او الحشرات فلابد من أن تتهيأ للنبات العائل (Host plant) الظروف المناسبة لذلك والتي تنعكس في توجيه التفاعلات الحيوية لصالح المسبب المرضي. فمثلا تجمع الاحماض الامينية او السكريات قد يزيد من شدة الاصابة حيث يزداد تركيز هذه المواد في الخلية النباتية ويقل الجهد المائي لها فتقوم بسحب الماء من الخلايا المجاورة فيزداد ضغطها الانتفاخي على جدار الخلية

متصبح اكثر رقة واشد عرضة للتمزق مما يسهل فرصة اصابتها بالامراض الفطرية وغيرها . ولذلك يجب أن نعرف كيف وفي أي اتجاه تؤثر العناصر الغذائية في التفاعلات الايضية للنبات .

هذا وقد بين (1970،Meyer) ان الاسمدة المضافة يجب ان تختلف حسب جنس ونوع النبات والطفيلي وكذلك حسب عوامل التربة لكي يكون السماد وسيلة ناجحة وفعالة لتفادي الاصابة بالامراض والآفات الضارة او تقليل فرصة تكاثرها وانتشارها . هذا وذكر (1972،Chaboussou) ان النبات يكون عرضة للاصابة بقدر ملاءمة حالته البيوكيمياوية للمسبب المرضي والتي من شأنها تقديم التغذية الكافية لنمو وتكاثر الطفيلي .

فقد توصل (1982،Ibenthal) في تجاربه على ثلاثة اصناف من الشعير الصيفي الى ان الصنفين (Amsel, Asse) اللذان اصيبا بمرض البياض الدقيقي **(Erysiphe graminis)** كان محتوى بشرة اوراقها من السكريات الذائبة عاليا في حين كان محتواها من الاحماض الامينية الذائبة واطئا . اما الصنف (Ruppe) المقاوم للاصابة بهذا المرض فكان العكس هو الصحيح كما كانت درجة تفاعله اقل بحدود 0.3 وحدة pH مقارنة بالصنف (Amsel) . إن الاضافة الملائمة للاسمدة الكيمياوية يجب الا ينظر اليها بمنظار مجرد فقط وهو رفع الانتاجية وتحسين نوعية المحصول ولكن يجب ان يراعي فيها كذلك الناحية الصحية للنبات والتي من شأنها رفع قدرته على مقاومة الامراض والآفات الحشرية الضارة الاخرى مع المحافظة على البيئة من التلوث ومراعاة صحة الانسان والحيوانات التي تتغذى على هذا المحصول .

قد يقع الانسان في خطأ عندما يعتقد أن التغذية الجيدة تسهل اصابة النبات بالامراض الفيروسية ولكن الدراسات العديدة قد اوضحت قلة الاضرار الناتجة من الاصابة بها في حالة التغذية الجيدة والمتزنة . فقد أشار (1970، Albrecht) بأنه في التربة الخصبة ذات المحتوى المتزن من العناصر الغذائية تكون النباتات النامية عليها اقل عرضة للاصابة بالامراض والحشرات . وقد أيده في ذلك (1972، Fuchs and Grossmann) عندما ذكرا من أن التغذية السليمة تزيد قدرة النباتات لمقاومة الامراض .

وطبقاً لما بينه (1972، Chaboussou) يجب ان يكون الهدف الاساس من اضافة العناصر الغذائية هو الحصول على كمية جيدة من البروتين وأيدما توصل اليه (1970، Albrecht) من ان النباتات ذات المحتوى العالي من البروتين قد ازدادت مناعتها ضد الاصابة بالامراض والحشرات .

هذا وقد أوضح (1972، Fuchs and Grosmann) بأن نسب العناصر الغذائية بعضها الى بعض في داخل النبات قد تلعب دوراً مهماً في زيادة او تقليل الاصابة بالامراض .

ولقد أشار (1971، Antonova) الى مقاومة اصناف اللفت للمسبب لمرض الجذر الصولجاني **(Plasmodiophora brassicae)** وعلاقة ذلك بمعامل التوزيع Distribution coefficient (DC) لعناصر المنغنيز والنحاس والبورون في الاوراق والجذور ولايهم هنا الكمية المطلقة من هذه العناصر في كل من الاوراق والجذور ولكن المهم هو معامل التوزيع (DC) والذي يمثل نسبة تركيز العنصر الغذائي في الاوراق الى نسبته في الجذور بالجزء في المليون اي ان معامل التوزيع (DC) :

DC = (تركيز العنصر في الاوراق جزء / مليون) / (تركيز العنصر في الجذور جزء / مليون)

فاذا كان معامل التوزيع اكبر من واحد فإن النباتات تكون مقاومة بينما اذا كان معامل التوزيع اقل من واحد فتكون النباتات عرضة للاصابة بهذا المرض .
وفيما يلي توضيح لدور العناصر الغذائية في مقاومة النباتات او اصابتها بالامراض والحشرات :

2.6 ـ دور التغذية الكاملة :

يقصد به التأثيرات الناتجة من جميع العناصر الغذائية وليس تأثير كل عنصر غذائي على انفراد . كما سبق ذكره يجب أن يراعي في اضافة الاسمدة الكيماوية الناحية الصحية للنبات فقد تكون العناصر الغذائية مكملة بعضها البعض او قد يكون لأحدها تأثيراً مضاداً لعنصر آخر وخصوصاً اذا ما كانت الكمية المضافة اعلى من الكمية المطلوبة .

والى جانب النتروجين فإن البوتاسيوم له دور مهم في اكساب النباتات المناعة ضد الامراض الفطرية والبكتيرية وان تأثير كل منها يضاد تأثير العنصر الاخر .

فقد اشار (Fuchs and Grossmann ,1972) الى ان التغذية الكاملة والملائمة تحسن من قدرة النباتات على مقاومة مسببات الامراض التالية :

الذبول البكتري للطماطة **(Pseudomonas solanacearum)**

واصابة اللهانة والقرنبيط ببكتيريا **(Xanthomonas campestris)**

وكذلك مقاومة البنجر السكري لمرض التعفن الطري المتسبب عن **(Phoma betae)**

ومقاومة الشوفان للاصابة بالتبقع السبتوري **(Septoria avenae)**

ومقاومة الطماطة للذبول الفيوزارمي **(Fusarium oxysporum** f.sp.Lycopersici)

ومقاومة الحنطة لامراض التعفن **(Ustilago and Tilletia spp.)...**

كما اشار **(Andreae** ,1971) بأن اضافة كميات عالية من P و K تزيد من قدرة الشعير لمقاومة الاصابة بمرض البياض الدقيقي وامراض الصدأ . وبين (Bains and Jhooty ,1978) بأن الاضافات من الـ N والمتبوعة بكميات عالية من الـ P وكميات قليلة من الـ K قد ادت الى زيادة مقاومة البطيخ لمرض البياض الزغبي المتسبب من **(Pseudoperonospora cubensis)** . في حين ان الاضافات العادية او تخفيف المحلول المغذي الى $\frac{1}{5}$ عما كان عليه أدت الى زيادة شدة الاصابة بهذا المرض .

كما لوحظت نتائج مغايرة تماماً حيث وجد ان التغذية الجيدة قد ادت الى زيادة الاصابة بامراض الصدأ وكذلك بامراض البياض الدقيقي المتسببة من (Erysiphaceae) وزيادة انتشار مرض اللفحة النارية المتسبب عن الاصابة **(Erwinia amylovora)** على التفاح واصابة الطماطة بالفطر (Cladosporium) .

كما اورد (Schäufele ,1978) ان المن **(Myzus persicae)** الذي يصيب الخوخ يفضل الهجرة الى نباتات البنجر المغذاة بصورة كافية من العناصر الغذائية وذات المحتوى العالي من السكريات والمركبات النتروجينية .

اما فيما يخص الحشرات المفترسة فلا زالت الآراء متضاربة بهذا الخصوص حيث وجد ان التغذية قد تزيد او قد تقلل من شدة الاصابة . فمثلاً وجد ان النتروجين قد يزيد من شدة الاصابة او قد يقللها . كما تبين ان كثيراً من الاحياء المسببة للامراض يتوقف مدى انتشارها على النباتات على محتوى الاخيرة من السكريات

والاحماض الامينيــة والمعروف ان هــذه المواد تزداد بزيــادة اضــافــة السماد النتروجيني وتقل بانخفاض كمية البوتاسيوم المضافة . كما وجد ان زيادة اضافة عنصر الـ N تقلل من تكوين المركبات الفينولية والتي يكون لها تأثير سمي على المسببات المرضية وبالتالي تزيد امكانية اصابة النباتات بها .

3.6 ـ دور العناصر الغذائية الكبرى

(أ) تأثيرات النتروجين :

يلعب النتروجين الدورَ الاكثر اهمية من بين العناصر الغذائية الاخرى فيما يتعلق بدورها في مقاومة النباتات للامراض والحشرات.فإضافة السماد النتروجيني فقط مع اهمال الاسمدة الاخرى تؤدي الى زيادة تعرض النباتات للاصابة بالامراض .

هذا وقد وجد (1974, Scheffer and Hunte-Müller) أن رش الشعير الصيفي بعناصر (B, Mn and Zn) قد قلل الاصابة بمرض البياض الدقيقي المتسبب عن (**Erysiphe graminis**) .

كما وجد (1975, Hernado and Casado) أن اصابة الفراولة (الشليك) بالفطر (**Phytophthora fragariae**) المتسبب في تعفن قلب الفراولة قد ازدادت بزيادة اضافة الـ N في حين أن الاصابة قد انخفضت بزيادة اضافة الـ P,K .

وبالنسبة للامراض الفيروسية كان الاعتقاد سائداً بأن التغذية الجيدة تزيد من شدة الاصابة إلا أن كثيراً من النتائج قد أشارت الى قلة الاصابة بها في حالة التغذية الملائمة . فقد ذكر(1970C،Leh) أن نباتات الجزر المصابة بالفيروس كان محتواها قليلاً من عناصر الـ N, P, K, Ca .

أما فيما يخص الاصابة بالحشرات والحيوانات فتشير الدراسات الى نتائج عكسية حيث أن التغذية الجيدة قد شجعت الاصابة بها . فقد وجد أن الاصابة بالنيماتودا وكذلك بالعناكب قد زادت بزيادة اضافة العناصر الغذائية كما أشارت الابحاث الى زيادة الاصابة بالحشرات الماصة مثل المن الذي يصيب الحنطة والبزاليا والفاصوليا واشجار الفاكهة والحمضيات . اما (1967, Fleischel) فقد لاحظ نتائج مغايرة حيث وجد أن الاضافات العالية من

سماد التوماس فوسفات وكذلك الاسمدة البوتاسية قد قللت الاصابة بالمن الذي يصيب الباقلاء . ولوحظ في الاونة الاخيرة زيادة انتشار الامراض والآفات الضارة الاخرى وكان هذا بالطبع ناتج عن زيادة إضافة الاسمدة النتروجينية . كما أن زيادة السماد النتروجيني تكون مصحوبة بزيادة النمو الخضري وطول مدته مما يؤدي الى تأخير النضج كما أن ذلك يؤدي الى زيادة المركبات النتروجينية الذائبة في داخل الخلايا مما يؤدي الى زيادة ضغطها الازموزي الامر الذي يدفعها لسحب الماء من الخلايا المجاورة فتمتلىء وتضغط على جدار الخلية فتصبح طرية ورقيقة وتتعرض للتمزق مما يسهل اختراق الفطريات والبكتريا للخلايا مما يزيد من شدة الاصابة ويسهل من زيادة انتشار الامراض وتكاثرها . وقد وجد أنه بزيادة اضافة السماد النتروجيني تزداد شدة الاصابة بامراض التفحم والصدأ والبياض الدقيقي للحنطة ولكن بطبيعة الحال كان هناك تفاوت في شدة الاصابة حسب الاصناف . كما أن شدة الاصابة قد تناسبت طردياً مع زيادة تجمع المركبات النتروجينية غير البروتينية مثل الـ Putrescine، **Agmatine** و Asparagine . فقد لاحظ (**Talibudeen et al.,** 1977) أن زيادة النسبة $\frac{N}{K}$ قد أدت الى زيادة اصابة الحنطة بصدأ الساق والاوراق وكذلك الاصابة بامراض التفحم ومرض تبقع الاوراق المتسبب عن الفطر (**Cercospora** spp.) . هذا ولقد أشار كل من (Baule، 1975) ، (Kiraly 1964) أن زيادة اضافة السماد النتروجيني يكون لها تأثير سلبي على محتوى النباتات من المركبات الفينولية الامر الذي يؤدي الى زيادة تعرضها للاصابة بالامراض وقد أكد ذلك ايضاً ما نشر من قبل معهد البوتاسيوم الدولي (Intern. Potash Inst.، 1976) تحت عنوان « استعمال السماد وصحة النبات » "Fertilizer and plant health" .

هذا وأوضح (Perrenoud، 1977) أن التوازن بين K,N وليس كميتها في النبات هي العامل المهم في مدى اصابة النبات بالامراض أو مقاومته لها . وفيما يلي نورد بعض الامثلة لاصابة النباتات بالامراض والمتسببة عن زيادة التسميد بالنتروجين .

لقد لوحظ زيادة اصابة التبغ ، الخيار ، الباقلاء ، اللهانة والقرنابيط بمرض تبقع الاوراق المتسبب عن الاصابة ببكتريا (**Pseudomonas** spp.) والبطاطة بانواع البكتيريا (**Erwinia** spp.) والعنب وانواع البنجر بالبياض الزغبي المتسبب عن (Peronosporaceae) والحنطة واشجار الفاكهة بمرض البياض الدقيقي (Erysiphaceae) والتفاح بمرض الجرب (**Venturia inaequalis**) والحنطة بمرض التبقع السبتوري (**Septoria nodorum**) .

وكذلك اصابة العنب بمرض العفن البني **(Botrytis cinera)** واصابة الشليك (الفراولة) بمرض العفن البني **(Botrytis)** والطماطة والقطن بالذبول الفرتسليومي **(Verticillium spp)** والتبغ والطماطة بمرض اللفحة المبكرة **(Alternaria)** وامراض الصدأ في الحنطة **(Puccinia spp., Uromgces spp.)** وكذلك الرز بالفطر **(Rhizoctonia solani)** . كما أشار (Darwinkel ،1980a) الى ان زيادة السماد النتروجيني والتبكير في اضافة الدفعة الثانية منه قد أدت الى زيادة اصابة الحنطة بالصدأ المخطط **(Puccinia striiformis)** بشدة وأدى الى تقليل الحاصل بحوالي 50% .

وكذلك وجد نفس الباحث ان اضافة جميع السماد النتروجيني دفعة واحدة قد سهلت اصابة الحنطة بمرض البياض الدقيقي . **(Erysiphe graminis)** . في حين ان تجزئة السماد النتروجيني قد قللت من الزيادة المفرطة في النموات الخضرية (تحديد النمو) والذي انعكس في تقليل اصابة الحنطة بمرض البياض الدقيقي . وقد بين (Darwinkel ،1980b) أن التأثير يكون افضل كلما تأخر موعد اضافة الدفعة الاخيرة من السماد النتروجيني للحنطة وقلت اصابة النباتات بمرض البياض الدقيقي . كما بين (Atkinson, 1980) انه كلما زادت النسبة $\frac{N}{K}$ كلما أدى الى تأخر نضج التفاح وكلما زادت شدة الاصابة بمرض الانثركنوز المتسبب عن الفطر **(Gloeosporium)** .

غير أن عدداً آخر من الباحثين قد توصل الى نتائج مغايرة لذلك فقد اشاروا الى رفع قدرة النباتات لمقاومة الاصابة بالامراض نتيجة اضافة السماد النتروجيني. فعلى سبيل المثال أشار (Kruger ،1970) الى مقاومة التبغ لمرض البياض الزغبي والبزاليا لمرض البياض الدقيقي والذرة الصفراء لمرض تعفن الساق والمتسبب عن الفطر **(Diplodia zeae)** والكتان والبطيخ لمرض الذبول الفيوزارمي المتسبب عن الفطر **(Fusarium)** وكذلك انخفاض اصابة الحنطة بمرض تكسر الساق المتسبب عن **(Cercosporella horpotrichoides)** .

كما وجد (Roorda Van Eysinga ،1966) تقليل اصابة الطماطة بمرض اللفحة المتأخرة المتسبب عن **(Phytophthora infestans)** . اما بالنسبة للامراض الفيروسية فانه يمكن القول بشكل عام زيادة شدة الاصابة بها بزيادة اضافة الاسمدة النتروجينية غير انه وجد في حالة الفيروس الذي يسبب التبقع البرونزي في الطماطة وكذلك الفيروسات التي تصيب البطاطة قد انخفضت بزيادة اضافة الـ N وقد علل (Fuchs and Grossmann ،1972) حدوث منافسة بين

الفيروس والنبات على البروتين . في حين لاحظ (1968، Olsen and Koehler) زيادة اصابة الشعير بفيروس التقزم الاصفر (Yellow Dwarf Virus) والذي يؤدي الى انخفاض الانتاجية علاوة على جعل الحبوب رفيعة .

ومما تجدر الاشارة اليه ان نوع السماد النتروجيني يلعب دوراً مهماً في مدى مقاومة النباتات او اصابتها بالامراض او الحشرات والذي قد يعود لتأثيراته الفسيولوجية المختلفة على التفاعلات الايضية المنباتات مثل رش النباتات باليوريا والتي قد تجعل الهرمونات التابعة للمسبب المرضي بشكل غير فعال .

وبالنسبة لعلاقة النتروجين بالحشرات فإنه يمكن القول بشكل عام أن زيادة اضافة السماد النتروجيني تزيد من اصابة النباتات بالحشرات المفترسة وتقلل من اصابتها بالحشرات الماصة (1975, 1969, Baule) .

(ب) **تأثيرات البوتاسيوم** : تزداد قدرة النباتات لمقاومة الاصابة بالامراض وخاصة بالفطريات والبكتيريا بزيادة البوتاسيوم (1977، Perrenoud) . فعلى سبيل المثال أشار (1966 Jordan et al.,) ان اصابة الحشائش بالفطريات قد ازدادت في حالة نقص البوتاسيوم .

واوضحت العديد من المراجع أن زيادة اضافة السماد النتروجيني تؤدي الى زيادة نسبة $\frac{N}{K}$ مما يؤدي الى زيادة اصابة النباتات بالمسببات المرضية نتيجة لزيادة الاحماض الامينية الذائبة في هذه الحالة (1967, Trolldenier) .

كما ذكر (1969, Marschner) ان زيادة المركبات النتروجينية في حالة نقص عناصر (K, P,S) لنبات القرع العسلي أدت الى زيادة شدة الاصابة بالـ **(Anasa tristis)** . كما اوضح (1970 Munson) ان زيادة النسبة $\frac{N}{K}$ أدت الى زيادة الاصابة بمرض الصدأ في الاوراق والساق واستطرد قائلا انه في هذه الحالة يزداد تجمع الاميدات مثل Asparagine, Agmatine, Putrescine والتي من شأنها تسهيل مهاجمة الطفيلي للنباتات ، كما ان الاميدات والاحماض الامينية الذائبة تسهل على الطفيلي استغلالها لصالحه . كما اورد (1972, Chaboussou) انه عندما كانت النسبة $\frac{N}{K}$ بحدود 2 انخفضت اصابة التفاح بمرض الجرب بعكس الحال عندما كانت النسبة $\frac{N}{K}$ 2.53 .

هـذا وقـد فسر (1972, Fuchs and Grossmann) و (1977 Perrenoud) وغيرهم من الباحثين دور البوتاسيوم الجيد في رفع كفاءة النباتات لمقاومة الاصابة بالامراض والآفات الضارة الاخرى لدوره في تنشيط العديد من الانزيمات (حالياً هناك اكثر من 60 انزيماً) يعتقد ان للبوتاسيوم دور في فعاليتها وكذلك دوره في بناء البروتين والكاربوهيدرات ولاشك ان هذه المواد تزود النبات بمواده الاولية اللازمة لتفاعلاته الايضية مما يجعله اكثر قدرة على مقاومة الامراض والآفات الضارة . كما ان نقص البوتاسيوم يؤدي الى رقة الجدار الخلوي وبالتالي يكون من السهل اختراق طبقة البشرة (Epidermis) من قبل الطفيليات النباتية .

ففي حالة زيادة اضافة السماد البوتاسي لوحظ زيادة قدرة النباتات لمقاومة المسببات المرضية فعلى سبيل المثال :

زيادة مقاومة الطماطة لبكتريا **(Pseudomonas)** واللهانة والقرنابيط والشلغم (اللفت) لبكتريا **(Xanthomonas)** والجت لمرض الذبول المتسبب عن بكتريا **(Corynebacterium insidiosum)** والبطاطا بمرض الجرب والـ **(Phytophthora spp.)** وامراض التعفن والذبول الفيوزارمي .

وكذلك قلة اصابة النباتات بأمراض البياض الزغبي والدقيقي ومنها **(Erysiphe graminis)** .

والجزر والمشمش بالتعفن البني المتسبب عن **(Sclerotinia spp.)**

والحنطة والشوفان بالتبقع السبتوري **(Septoria nodorum)**

والعنب والفاصوليا والبزاليا والبطاطا بالفطر **(Botrytis spp.)**

والطماطة بالذبول الفرتسيولي **(Verticillium)**

والرز بالفطر **(Helminthosporium spp.)** والتعفن الفيوزارمي للبطاطة .

وكذلك التعفن الفيوزارمي على كل من اللهانة والقرنابيط والطماطة والقطن والكتان والبرسيم والرقي والبطيخ .

والبطاطة والرز بالـ **(Rhizoctinia solani)** وكذلك أمراض الصدأ المتسببة عن **(Puccinia spp.)** على الحنطة .

وقد اشار (1967 Trolldenier) ان التأثير يكون افضل كلما زاد البوتاسيوم مقارنة بالـ N ، P .

كما إن اصابة الحنطة بمرض التبقع البني **(Septoria nodorum)** تقل بزيادة اضافة السماد البوتاسي . كما اشارت الدراسات أن تبقع اوراق فستق الحقل تقل بزيادة اضافة البوتاسيوم .

وقد لاحظ (1970 Meyer) ان زيادة اضافة البوتاسيوم المصاحبة بزيادة اضافة النتروجين قد ادت الى تقليل شدة اصابة الحنطة بمرض الذبول المتسبب عن الفطر (**Fusarium culmorum**).

وكذلك اوضح (1979, Quelhas Dos Santos) ان امراض الفيروس التي تصيب اوراق البطاطا قد انخفضت بزيادة اضافة السماد البوتاسي. كما إن الاصابة بالحشرات قد انخفضت بزيادة الاضافات من الاسمدة البوتاسية والتي حسب رأي (1970، Finck) قد تكون بسبب زيادة ثبات الجدار الخلوي والى قلة تكوين السكريات.

وطبقاً لما ذكره (1978, Schäufele) فإن زيادة اضافة البوتاسيوم قد قللت اصابة البنجر السكري بمرض الفيروس المسبب للاصفرار.

بينما لوحظ ان زيادة اضافة البوتاسيوم ادت الى زيادة شدة اصابة الطماطة بالعنكبوت الاحمر (**Tetranychus** spp.) اما اصابة الكتان بالتربس (**Thrips Lini**) فقد انخفضت. اما (1967, Trolldenier) فأوضح ان نقص البوتاسيوم قد زاد من اصابة الذرة الصفراء بحوالي 4 مرات وطبقاً لما رواه الباحث نفسه فإن يرقات (**Lema melanopus**) قد افترست فقط النباتات التي كانت تعاني من نقص البوتاسيوم.

وكذلك حصلت على نتائج مماثلة في حالة المن الذي يصيب الخوخ والتفاح. كما تبين أن اصابة البنجر السكري بالنياتودا (**Heterodera scshachtii**) قد قلت بزيادة الـ K.

ومما تجدر الاشارة اليه ان الاسمدة البوتاسية المحتوية على الكلوريد كان تأثيرها افضل في رفع مقاومة النباتات مقارنة بالاسمدة البوتاسية الكبريتية فعلى سبيل المثال انخفضت الاصابة بجرب البطاطا المتسبب عن الاصابة (**Stretomyces scabies**) والتعفن البني لثمار المشمش المتسبب عن الفطر (**Mohilia**) كذلك امراض البياض الدقيقي بالاضافة الى تعفن ساق الذرة الصفراء المتسبب عن الفطر (**Gibberella** spp.).

وللحصول على تفاصيل دقيقة لعلاقة البوتاسيوم بالامراض النباتية والحشرية ينصح بالرجوع الى (1977, perrenoud).

(جـ) تأثيرات الفسفور

بالرغم من أن للفسفور دوراً مهماً في بناء الاحماض النووية ومركبات الطاقة ولوظائفه المهمة في التفاعلات الأيضية للنبات الا أن دوره في مقاومة النباتات او اصابتها بالامراض وبالآفات الضارة لايزال مجهولاً . ومع ذلك فان جميع الدلائل والمعلومات القليلة المستنبطة تشير بأن له دوراً معاكساً للنتروجين ومماثلاً للبوتاسيوم . وبوجه عام يمكن القول انه يرفع كفاءة النباتات في مقاومة المسببات المرضية .

فقد وجد كالبوتاسيوم يزيد من صلابة وتقوية الانسجة بيد أن الكميات الزائدة من الفسفور تسبب التبكير في نضج محصول الحنطة مما يقلل من محتواه من اللكنين .

كما أشارت بعض المراجع ان اضافة الفسفور قد قللت اصابة التبغ بمرض التبقع المتسبب عن الاصابة ببكتريا (**Pseudomonas tabaci**) والحنطة بمرض تعفن الجذور المتسبب عن الفطر (Pythium root rot) والبطاطا بمرض اللفحة المتأخرة المتسبب عن الاصابة بالـ (**Phytophthora infestans**) (Borys، 1966) وكذلك قلت اصابة الحنطة بمرض البياض الدقيقي المتسبب عن (**Erysiphe graminis**) والذرة الصفراء بمرض تعفن الساق والجذور المتسبب عن الاصابة بالفطر (Gibberella shoot and root rot) والبنجر بمرض التعفن الطري المتسبب عن الفطر (**phoma betae**) والفاصوليا بمرض التعفن البني (**Botrytis fabae**) والبرسيم بمرض الذبول الفيوزارمي (**Fusarium** spp.) وكذلك الطماطة بمرض الذبول الفيوزارمي والحنطة بأمراض الصدأ (**Puccinia** spp.) واللهانة والقرنابيط بمرض التعفن الاسود (**Xanthomonas campestris**) والجت بمرض التبقع الورقي (**Pseudopeziza medicaginis**) والطماطة بمرض اللفحة المبكرة (**Alternaria soalani**) .

هذا وقد اشار (Kaila and Hànninen، 1961) أن اضافة الفوسفات في الخريف ادت الى تقليل الاصابة بالامراض الفطرية في الشليم كما اورد (Herlihy and Carroll، 1969)أن اصابة البطاطة بمرض التبقع الرمادي (Grey speck disease) المتسبب عن (**Alternaria solaui** Sor.) قد انخفضت بشكل ملحوظ . كما ان اصابة الحنطة بمرض التفحم السائب كان شديدا في حالة نقص عنصر الفسفور .

أما (Schaufele, 1978) فقد اوضح ان اصابة البنجر السكري بمرض تعفن الجذور المتسبب عن الفطر (.Pythium spp) قد انخفضت بشكل كبير عند العناية بالسماد الفسفاتي .

غير ان عددا من الباحثين قد حصل على نتائج مغايرة وأن اضافة الفوسفات تزيد من امكانية النباتات للاصابة بالمسببات المرضية . فقد ذكر ان نقص الفسفور قد قلل الاصابة بمرض التعفن الطري البطاطا المتسبب عن بكتيريا **(Erwinia carotovora)** والقرنابيط واللهانة بمرض الجذر الصولجاني المتسبب عن **(Plasmodiophora brassicae)** والتبغ بفطر **(Phytophthora nicotiana)** والرز بمرض تبقع الاوراق (Helminthosporium) .

هذا وقد وجد (Marx, 1972) ان اضافة الفسفور تشجع تكوين المضادات الحيوية بواسطة المايكورايزا مما يرفع من كفاءة النباتات لمقاومة المسببات المرضية وبالنسبة لدور الفسفور وعلاقته بالامراض الفيروسية فإن الصورة اوضح من دوره بالنسبة للامراض الفطرية والبكتيرية حيث ان عنصر الفسفور يعتبر حجر الاساس في تكوين الاحماض النووية والتي تعتبر اساسية لتضاعف الفيروسات وعلى هذا الاساس فإن اضافة الفسفور تزيد من امكانية تزايد الفيروس وبالتالي تزيد من شدة الاصابة وبمساعدة النتروجين الذي يعتبر ضروريالبناء الفيروس .

ومما تجدر الاشارة اليه ان نقص الفسفور أو زيادته زادت من انتشار المن ويحصل بمشاركة العناصر الغذائية الاخرى . غير انه قد وجد ان نقص الفسفور قد قلل من تكاثر المن **(Myzus persicae)** في حين ادى الى زيادة شدة الاصابة في البنجر السكري .

وبوجه عام يمكن القول بالنسبة لتأثير الفسفور على الحشرات فلا تزال النتائج متباينة ومتضاربة وتحتاج الى المزيد من الدراسات قبل اعطاء توصية في ذلك .

(د) تأثيرات الكالسيوم

يؤثر الكالسيوم على الامراض والحشرات بالدرجة الاولى لتأثيره المباشر على الـ pH من ناحية وكذلك من خلال تأثيره الكاوي من ناحية اخرى . فقد لوحظ زيادة الاصابة بمرض الجذر الصولجاني في اللهانة والقرنابيط المتسبب عن **(Plasmodiophora brassicae)** في الـ pH الحامضي . بينما ازدادت امراض البياض الدقيقي تحت الظروف القاعدية .

ومما تجدر الاشارة اليه أن التأثير لا يعود بحد ذاته الى الـ pH ولكن نتيجة لتأثير الـ pH على جاهزية العناصر الغذائية الضرورية للنباتات . كما وجد ان اصابة التبغ ببكتريا **(Pseudomonas tabaci)** قد انخفضت عند اضافة كميات عالية من الكالسيوم وحدث العكس في حالة البطاطا حيث اصيبت درناتها بشدة بمرض الجرب .

وبوجه عام فقد أشارت بعض الدراسات الى ان الاضافات المتزايدة من الكالسيوم قد زادت من قدرة النباتات لمقاومة امراض فطرية عديدة نذكر منها قلة اصابة الطماطة بمرض الذبول الفرتسيولي والفيوزارمي والمتسببة عن **(Verticillium albo-atrum)** و **(Fusarium)** على التوالي . وامراض الصدأ في الحنطة وكذلك اصابة الطماطة بمرض **(Sclerotium rolfsii)** التفاح بمرض التعفن المتسبب عن **(Gloeosporium)** (1975, Shear)

كذلك لوحظت قلة اصابة اللهانة والقرنابيط بمرض الجذر الصولجاني المتسبب عن **(Plamodiophora brassicae)** عندما زادت النسبة $\frac{Ca}{K}$ ، كما أشار (1969 ,Marschner) ان فستق الحقل قد قلت نسبة اصابته بامراض التعفن المتسبب عن **(Pythium myriotylum)** وبمرض **(Rhizoctonia solani)** عند اضافة كميات عالية من الكالسيوم . هذا وقد فسر التأثير الايجابي للكالسيوم في رفع مقاومة النباتات للاصابة بالامراض او الحشرات لدوره المتميز في تقوية الجدار الخلوي من خلال دخوله في تكوين الصفيحة الوسطى (middle lamella) للجدار الخلوي مما يزيد من تكوين البكتين والذي يدخل فيه الكالسيوم على شكل بكتات الكالسيوم وهذا يصعب من إمكانية اختراق الطفيلي للجدار الخلوي . كما ان وجود الكالسيوم بشكل بكتات الكالسيوم في الجدار الخلوي يقلل من تهدمه بفعل الانزيمات وكذلك فانه يقلل من وجود الاحماض الامينية الحرة علاوة على دور الكالسيوم في تشجيع الانزيمات المسؤولة عن تكوين البكتين . وبناء على ذلك فان الكالسيوم يرفع من كفاءة النباتات لمقاومة الامراض الفيروسية كما انه قد يمنعها تماماً .

وبينما أشارت الدراسات ان اضافة الكالسيوم قد زادت من شدة أصابة التبغ بفيروس موزائيك التبغ الا أن اصابة الطماطة بفيروس التبقع البرونزي قد انخفضت وقد عزى ذلك الى تقليل انتشار الفيروس بسبب ميل الكالسيوم الى تكوين مركبات مع بروتوبلازم الخلايا . أما بالنسبة لتأثير الكالسيوم على الحشرات فلا تزال الصورة غير واضحة .

وفي الوقت الذي انخفضت فيه اصابة الحنطة بالمن **(Toxoptera graminum)** وكذلك العنكبوت الاحمر (.Tetranychus spp) باضافة الكالسيوم فان المن الذي يصيب الجت قد ازداد بزيادة الكالسيوم .

(هـ) تأثيرات المغنيسيوم

إن المعلومات والدراسات قليلة بهذا الخصوص ومتضاربة .فقد ذكر ان اصابة البطاطا بمرض اللفحة المتأخرة **(Phytophthora infestans)** و **(Rhizoctonia solani)** قد انخفضت عند اضافة كبريتات المغنيسيوم وكذلك قلت إصابة الحنطة باضافة كلوريد المغنيسيوم في حين ان اصابة العنب بالفيروسات المتسببة في الموت الموضعي للخلايا (النخر) (necrosis) قد ازدادت في حالة نقص المغنيسيوم او في حالة السمية به .

وأشار (scholl and Gehlker ,1973) ان اضافة المغنيسيوم قد قللت اصابة الطماطة بالعنكبوت الاحمر (.Tetranychus spp) والباقلاء بالمن الاسود **(Aphis fabae)** والحمضيات بالمن **(Lepidosaphes beckii)** .

(و) تأثيرات الكبريت

لازالت المعلومات محدودة وقليلة عن دور الكبريت من حيث علاقته بالمسببات المرضية والآفات الضارة وغالبا ما تعود الى الكاتيون المرافق عند اضافة الاسمدة الكبريتية .

وذكر ان اصابة نباتات العائلة الصليبية مثل اللهانة والقرنابيط بمرض الجذر الصولجاني المتسبب عن **(Plasmodiophora brassicae)** قد انخفض باضافة السماد الكبريتي .

كما لوحظ ان نقص الكبريت قلل من انتشار فيروس موزائيك التبغ في حين وجد العكس فإن اضافة الكبريت كما هو الحال عند اضافة النتروجين تؤدي الى زيادة اصابة البطاطا بالفيروس . كما وجد أن اضافة مسحوق الكبريت قد قلل اصابة البطاطا بمرض الجرب **(Streptomyces scabies)** . كما لوحظ ان اضافة السماد الكبريتي قد قلل من اصابة الطماطة والخردل بالعنكبوت الاحمر (.Tetranychus spp) في حين ازدادت شدة الاصابة به على الخيار .

4.6 ـ دور العناصر الغذائية الصغرى :

ازداد الاهتمام في الآونة الاخيرة لدراسة العلاقة بين العناصر الغذائية الصغرى سواء منفردة او مجتمعة وبين المسببات المرضية وخاصة فيما يتعلق بالامراض الفطرية والبكتيرية والفيروسية وبدرجة اقل بالنسبة للآفات الضارة . وإن الاتجاه المتبع هو لمعرفة التأثير السمي لهذه العناصر الصغرى على المسببات المرضية وليس بالطبع التأثير السمي الذي تحدثه هذه العناصر على النباتات .

ويعتبر (1969،Katalymov) و (1972، Fuchs and Grossmann) من العلماء الرائدين في هذا المجال . وطبقا للدراسات التي قام بها هؤلاء الباحثون على امراض التفحم وبعض امراض الصدأ على الحنطة ومرض التخطيط (Helminthosporium) ظهر ان العناصر الغذائية الصغرى تلعب دورا مهما في رفع قدرة النباتات لمقاومة هذه الامراض والذي ينعكس ايجابيا في زيادة الحاصل وتحسين نوعيته . وهذا ما أكدته التجارب المدعومة بالتحليل النسيجي لهذه النباتات حيث لوحظ ان الشوفان والشيلم والشعير قد ارتفعت مقاومتها لهذه الامراض بحوالي 18 مرة . كما وجد ان الزنك قد منع كليا من اصابة الشيلم بمرض تفحم الساق . وهذه النتائج قد أكدت من قبل (1967، Trolldenier) بالرغم من اشارته بزيادة المقاومة ضد امراض البياض الدقيقي والتفحم السائب والمغطى عندما كان هناك نقصا بعناصر (B, Co, Cu, Fe, Mo and Ni) .

وطبقا لما أشار اليه (1970، Poljakov) فان رش عباد الشمس بمحاليل 0.1% من املاح الـ (B, Co, Zn, Mn) قد قلل الاصابة بمرض التعفن الابيض بحوالي 50% كما أدى الى زيادة الحاصل .

وقد كتب (1964، Kazuo Yamafuji) في كتابه الموسوم « العوامل الغذائية في تكوين الفيروس » "Nutritional factors in virus formation" بأن الحديد والنحاس وكذلك بعض العناصر الاخرى توجه نشاط انزيم الـ Catalase بالنسبة للفيروسات وهذا يعتبر مهما حيث ان بناء الفيروس وزيادته مرتبطة ارتباطا وثيقا بتجمع الـ (Peroxides) . وطبقا لنفس الباحث تلعب ايضا عناصر الـ Mn, Zn, Co دورا مهما في زيادة الفيروس . كذلك أشار (1964، Schütte) بأن نقص المنغنيز قد أدى الى زيادة شدة الاصابة بفيروس موزائيك التبغ . وإن نقص البورون أدى ايضا الى زيادة الاصابة بفيروس موزائيك التبغ وبفيروس الاصفرار على البنجر السكري . وقد اوضح (1974، Tsyplenkov) ان رش

الطماطة بمحلول 0.1% من حامض البوريك قد قلل الاصابة بفيروس موزائيك التبغ وأدى الى زيادة الحاصل . هذا وقد وجد (1974, Tsyplenkov and Fomin) ان رش الطماطة بمحلول 0.05% حامض البوريك و 0.01% من محلول كبريتات الكوبلت قد قللت الاصابة بفايروس موزائيك التبغ بمقدار $\frac{2}{3}$. واستطاع (1962, Wallace) ان يثبت أنه باضافة الحديد المخلبي انخفضت الاصابة بفيروسات النباتات (والتي تشبه الى حد كبير اعراض نقص عنصر الحديد) او تلاشت نهائيا . وأشار نفس الباحث بأن الزنك يلعب دورا مماثلا كما في حالة الحديد . كما بين (1963, Carr and Stoddart) أن الاضافات المتزايدة من الزنك الى البرسيم الابيض قد قللت الاعراض المتسببة عن فيروس اخضرار الازهار . وقد وجد (1963, Millikan and Pickett) . إن نسيج اوراق التفاح المصابة بالفيروس احتوت كمية اقل من الزنك مقارنة بتسيج الاوراق السليمة . كما لوحظ ان الخوخ والتبغ المعرضان للاصابة بالفيروسات قد انخفضت اصابتها نتيجة اضافة الاسمدة الخاصة بالزنك .

غير انه قد لوحظ ان اضافة الزنك قد زادت من شدة الاصابة بفايروس موزائيك التبغ وان اصابة النباتات بهذا الفايروس كانت تزيد من معاناة النباتات لاظهار اعراض نقص عنصر الزنك ، بينما ارتفعت كفاءة الطماطة في مقاومة الفيروسات باضافة العناصر الغذائية الصغرى .

ومما تجدر الاشارة اليه ان الصورة لازالت غير واضحة تماما فيما يخص العناصر الغذائية الصغرى وعلاقتها بالامراض الفايروسية حيث نجد في المراجع نتائج متباينة فعلى سبيل المثال هناك اشارات بأن نقص المولبدنم او زيادته قد تقلل من الاصابة بفايروس موزائيك التبغ . كما وجد ان استخدام كميات مختلفة من Fe و Mn ، Zn و Co لم يظهر لها اي تأثير على العنكبوت الاحمر .

كما ان دراسات اخرى قد بينت ان رش الحمضيات بمحاليل املاح العناصر الغذائية الصغرى قد رفعت من شدة اصابتها بالمن .

وسيشرح فيما يلي دور كل عنصر من العناصر الغذائية الصغرى وسيكتفى بذكر التأثيرات الايجابية لكل عنصر :

(أ) تأثيرات البورون

أشارت الدراسات بأن الاضافات المتزايدة من البورون قد قللت اصابة اللفت السويدي بمرض الجذر الصولجاني (**Plasmodiophora brassicae**) كما وجد ان اضافة كميات قليلة من البورون قد أدت الى الشفاء من الامراض التي اصيبت بها وهي اصابة الحنطة بمرض الصدأ المخطط وصدأ الورقة (**Puccinia recindita striiformis, P.**) واصابة عباد الشمس بالبياض الدقيقي المتسبب عن الفطر (**Erysiphe cichoracearum**) واصابة الشعير بالبياض الدقيقي المتسبب عن الفطر (**Erysiphe graminis**) (ولكن لم يكن للبورون اي تأثير في مقاومة نباتات الفاصوليا ، الخيار، الحنطة والشوفان لمرض البياض الدقيقي السابق الذكر) واصابة البنجر بمرض التعفن الطري المتسبب عن الفطر (**Phoma betae**) والقرنابيط بمرض العفن البني (Botrytis) وكذلك اصابة عباد الشمس بامراض الصدأ وكثير من الامراض البكتيرية .

وطبقا لما أورده (1967، Schütte) في دراساته فان نقص البورون قد زاد من اصابة الحنطة بمرض البياض الدقيقي المتسبب عن الفطر (**Erysiphe graminis**).

هذا وقد أشار (1969، Primavesi) ان نقص البورون قد أدى الى زيادة اصابة الرقي والبطيخ بمرض البياض الدقيقي اي كما وجد في حالة نقص البوتاسيوم . وان اصابة الطماطة بمرض الذبول الفيوزارمي قد انخفضت باضافة كميات معتدلة من البورون . ولاحظ (1962، Judel and Kurten) ان اضافة البورون قد قللت من اصابة البطاطا بمرض الجرب والذي عزى الى تحسين بناء البشرة ونضج القشرة كما أدى الى تقليل اصابة البطاطا بمرضي التعفن الجاف والتعفن البني (.Combrink et al، 1975) وتوصل (Gerath and، 1971 pett) بأن اضافة 1.5-1 كغم B للهكتار قد منع اصابة البطاطا بمرض التعفن الطري .

هذا وقد اوضح (1975، Antonova) بأن معامل التوزيع بالنسبة لنبات اللهانة والقرنابيط المصابة بمرض الجذر الصولجاني (**Plasmodiophora brassicae**) كان يتراوح من 0.52 الى 5.47 في حين كان معامل التوزيع في حالة النباتات السليمة من 0.52 الى 0.76 .

كما ذكر أن نقص البورون او زيادته قد أدت الى اصابة العنب بالعنكبوت (Panonychus ulmi) ويعزى (Rajaratnam and Hock, 1975) ان مناعة النباتات بسبب اضافة البورون يعود الى تكون صبغة الانثوسيانين والتي من شأنها تقليل اصابة النباتات بالامراض الفيروسية والفطرية والحشرات. كما ذكر ان نقص البورون قد أدى الى زيادة شدة اصابة اشجار جوز الهند بالعنكبوت الاحمر (Tetrangchus piereci).

(ب) تأثيرات النحاس

أشارت الدراسات بأن التغذية الكافية من النحاس قد قللت إصابة الحنطة بمرض البياض الدقيقي (Erysiphe graminis) (Graham, 1980a) وكذلك بمرض صدأ الورقة (Puccinia recondita) ومرض التفحم السائب (Ustilago tritici) (Trolldenier, 1967).

ونفس الشيء قد وجد حيث قلت اصابة البطاطة بامراض اللفحة المتأخرة (Phytophthora infestans) والتعفن الطري (Erwinia carotovora) والجرب (Streptomyces scabies) والأمراض البكتيرية المسببة للتعفن في اثناء خزن محصول البطاطا.

كما تبين أن اصابة العنب بمرض البياض الزغبي (Peronosporaceae) ومرض البياض الدقيقي (Erysiphe cichoracearum) على التبغ ومرض التخطيط (Helminthosporium oryzae) وكذلك كثيراً من الامراض التي تصيب اوراق الخيار، الطماطة والخوخ فإنها تقل باضافة عنصر النحاس. فقد ذكر (Primavesi, 1973) بأن اضافة 3 كغم من $CuSO_4$ / هكتار المصحوبة بعملية الري قد أدت الى تقليل اصابة الرز بمرض الشرى (خناق الرقبة) (Rotten neck) المتسبب عن (Pyricularia oryzae) في ترب البرازيل ذات المحتوى القليل من النحاس.

وطبقاً لما أورده (Rahimi, 1972) في دراسته بأن نقص النحاس قد زاد مر وجود الأمراض الفطرية في نباتات الطماطة وعباد الشمس والفلفل وقد يعو السبب في رفع كفاءة النباتات لمقاومة الامراض وخاصة الفطرية الى زيادة تكو اللكنين في الجدار الخلوي مما يصعب من عملية اختراق الفطريات لهذا الجدا الخلوي وأيضاً الى تأثيره في تكوين الفينولات وهذا ما أيده أيد (Graham, 1980a) في دراساته.

(جـ) تأثيرات المنغنيز

لقد أشار عدد من الباحثين بأن مرض جرب البطاطا المسحوقي (Streptomyces scabies) ينخفض بسبب السمية الناتجة من اضافة المنغنيز (Mortvedt et al., 1963) و (McGregor and Wilson, 1964) . كما اوضح الباحثون بأن العوامل البيئية والتي من شأنها زيادة جاهزية المنغنيز في التربة يعود اليها السبب في خفض الاصابة بمرض الجرب المسحوقي في نبات البطاطا . كما أشار (Mudich, 1967) بأن مرض اللفحة المتأخرة في البطاطا المتسبب عن الاصابة (Phytophthora infestans) ومرض التخطيط في نبات الرز المتسبب عن الاصابة (Helminthosporium oryzae) ومرض البياض الدقيقي المتسبب عن (Erysiphe graminis) وكذلك امراض الصدأ (Puccinia spp.) ومرض التفحم السائب (Ustilago tritici) في الحنطة تقل باضافة المنغنيز (Trolldenier, 1967) .

هذا وقد تبين أن امراض التفحم في الشعير قد انخفضت بحوالي 33 مرة باضافة المنغنيز . واوضح (Novikova, 1964) بأن مقاومة الحنطة الصيفية للصدأ البني وكذلك مقاومة الشعير لمرض البياض الدقيقي قد ازدادت في وجود المنغنيز . كما تبين أنه بالرغم من زيادة السماد النتروجيني فإن اصابة الخردل قد انخفضت عند تسميد التربة بالاسمدة المحتوية على المنغنيز في حين ان اضافة المنغنيز رشا على اوراق النباتات لم يكن لها أي تأثير في تقليل الاصابة (Zajonc, 1971) . وقد بين (Zajonc et al., 1975) أن اضافة 60-90 كغم Mn في الهكتار قد منع كلياً اصابة الخردل بمرض البياض الدقيقي .

وعلى النقيض من ذلك فقد وجد أن نقص المنغنيز او زيادته زادت من شدة اصابة الطماطة بمرض الذبول الفيوزارمي . في حين ان اضافة المنغنيز او اضافة البورون قد قللت اصابة الطماطة بمرض التبقع البني بمقدار 50% .

وكذلك اشارت الدراسات ان مقاومة الشوفان للامراض البكتيرية التي تصيب الجذور قد إزدادت عند اضافة المنغنيز بكمية كافية .

وطبقاً لما أشار اليه عدد كبير من الباحثين امثال (Baule, 1972) و (Wenzel 1970a,b) فإن اصابة اشجار التنوب بالفطر الثاقب (Fomes annosus) والـذي يسبب التعفن تزداد نتيجة التغذية غير الجيدة بعنصري المنغنيز والحديد والتي تعزى الى قلة تكوين المركبات الفينولية

(Poly-hydroxyphenols) وكذلك قلة تكوين المركبات التربينية الدهنية (Terpenes) نتيجة لنقص هذين العنصرين . وقد اوضحوا ان المقاومة قد ازدادت من ضعف الى ضعفين عند اضافة المنغنيز بالنسبة لمعاملة المقارنة .

وقد اوضح (Baule ,1975) أن وجود كميات عالية من الكالسيوم ونتيجة لارتفاع درجة تفاعل التربة (pH) والتي من شأنها العمل على تثبيت المنغنيز والحديد وكذلك تأثيرها في قلة امتصاص البوتاسيوم قد أدت الى خسائر تقدر بلايين الماركات الالمانية نتيجة لاصابة اشجار التنوب بهذا المرض .

((د) تأثيرات الزنك

أشارت عدة دراسات الى زيادة مناعة الفاصوليا المتسببة عن البكتريا المسببة لمرض التبقع (**Xanthomonas phaseoli**) باضافة سماد الزنك وكذلك الى زيادة مقاومة البنجر واللهانة لمرض البياض الدقيقي المتسبب عن الاصابة (**Erysiphe polygoni**) والى رفع قدرة اللهانة القرنابيط لمقاومة مرض الجذر الصولجاني (**Plasmodiophora brassicae**) وكذلك زيادة مقاومة الطماطة ضد مرض التبقع البني والى ارتفاع قدرة الخيار لمقاومة الامراض المتسببة عن الاصابة بالبكتريا مثل (**Pseudomonas Lacrymans**) والذرة الصفراء لمرض التفحم السائب المتسبب عن (**Ustilago zeae**) وامراض الصدأ في النجيليات ومرض اللفحة المتأخرة المتسببة عن (**Phytophthora infestans**) على البطاطا والطماطة عند اضافة الاسمدة المحتوية على الزنك . وقد بين(Yaroshenko,، 1967) أن معاملة البذور باملاح الزنك قد أدت الى زيادة نشاط فعالية انزيم الـ Catalase والى زيادة محتوى البروتين وأيضاً الى زيادة التنفس في الشيلم وأدت بدورها الى تقليل الاصابة بمرض تفحم الساق . كما لوحظ زيادة شدة الاصابة في اشجار المطاط في حالة نقص الزنك بالمرض المتسبب عن الاصابة بالفطر (**Oidium heveae**) . كما اورد (**Primavesi,1969**) أن اصابة الذرة الصفراء بحفار الساق قد انخفضت بإضافة الزنك واوضح ان هذه الدودة تفضل دائماً النباتات ذات المحتوى المنخفض من الزنك .

كما أشار العالم نفسه ان الاصابة بالنيماتودا تقل باضافة كبريتات الزنك وإن نفس التأثير قد وجد عند اضافة كبريتات المنغنيز او موليبدات الامونيوم .

(هـ) تأثيرات المولبدنم

أشار (1967، Mechmanov) ان رش نباتات القطن بمحاليل المولبدنم والزنك قد قللت اصابتها بمرض الذبول الفرتسيولي المتسبب عن الـ (**Verticillium**). وإن معاملة بذور الذرة الصفراء بمولبدات الامونيوم قد قللت الاصابة بمرض التفحم. كما ان مقاومة الجت للامراض قد ازدادت نتيجة لاضافة المولبدنم. واضاف الباحث أن اصابة التبغ بمرض البياض الدقيقي المتسبب عن (**Erysiphe cichoracearum**) انخفضت كذلك نتيجة اضافة المولبدنم.

(و) تأثيرات الحديد

اوضح عدد من الدارسين ان اصابة النباتات بأمراض الصدأ قد انخفضت باضافة الحديد. كما أشارت هذه الدراسات ان علاج النباتات التي كانت تعاني من نقص الحديد قد تم وقضي على المن الذي اصاب اشجار الكريب فروت.

5.6- دور العناصر الاخرى

بالاضافة الى تأثيرات العناصر الغذائية الكبرى وكذلك العناصر الغذائية الصغرى فتبين أن للسيليكون دور مهم في رفع كفاءة النباتات في مقاومة عدد من المسببات المرضية. فقد اشار عدد من الباحثين إن اصابة النباتات بالفطريات المسببة لامراض البياض الدقيقي ولامراض الصدأ قد انخفضت باضافة السليكون أو بزيادة محتوى النباتات منه. وعلى ضوء بعض الدراسات مثل (Anonym 1971,) و (1977, Thiagalingam) بأن السليكون يفضل خلايا البشرة حيث يترسب فيها وبالتالي فهو يمثل حاجز فيزياوي في عدم امكانية او صعوبة اختراق هذه الخلايا بواسطة الفطريات المسببة لهذه الامراض. كما اشارت الدراسات انه في حالة نقص البوتاسيوم فإن الصوديوم يزيد من مقاومة التبغ لمرض البياض الدقيقي (**Erysiphe cicheralearum**).

بالنسبة للكلوريد وجدت تأثيرات سلبية على المسببات المرضية في حالة تواجده بتراكيز عالية.

. كما وجدت تأثيرات ايجابية على مقاومة الطماطة لمرض التعفن ولامراض الفايروس في حالة وجود اليود. كما اشير ان لايونات اليود تأثير ايجابي في مقاومة النباتات لامراض الصدأ والبياض الدقيقي والنيماتودا.

وطبقاً لما اشار اليه (1967، Grover) بأن املاح الكوبلت قد قللت إصابة الحنطة بمرض صدأ الساق الاسود (**Puccinia graminis tritici**).

وفيما يخص العناصر الاخرى والتي منها الليثيوم ، النيكل ، الباريوم ، الكادميوم والسلينيوم فتشير الدراسات ان لها نوعاً من التأثيرات الايجابية في رفع قدرة النباتات لمقاومة الامراض والآفات الضارة الاخرى والتي يعتقد بأنها تعود الى تأثيراتها السمية على المسببات المرضية والحشرية غير أن استعمالها في الانتاج النباتي او استخداماتها في الزراعة تحتاج الى المزيد من الدراسة والعناية حيث ان التراكيز العالية منها تكون سامة للانسان والحيوان .

ومما تجدر الاشارة اليه أن تأثير العناصر الغذائية وعلاقتها بمقاومة النباتات للامراض والآفات الضارة الاخرى يجب الا ينظر اليها بمنظار مجرد أنها تعتمد على النقص او الزيادة بالعنصر الغذائي المعين ولكن يجب ان تكون مرتبطة تماماً بالتغذية النباتية ككل ومدى علاقة كل ذلك بهذه المسببات .

كما نود أن نشير ان ماذكر من علاقات وتأثيرات لهذه العناصر الغذائية على المسببات المرضية والحشرية هي مجرد معلومات عامة ويجب الا تؤخذ على انها نهائية وتحتاج من العاملين المزيد من البحث والدراسة ويجب ان يكون ذلك مدعوماً بالتحاليل المختبرية المتطورة .

كما يجب ان يراعي ان اضافة المغذيات النباتية ليس فقط للحصول على أعلى حاصل بل الصحة العامة للنبات وكذلك مراعاة عدم تلوث البيئة ومراعاة صحة الانسان والحيوان الذي يتغذى على هذه المنتوجات النباتية .



العناصر المعدنية غير العضوية
Inorganic mineral elements

1.7 ـ العناصر الغذائية الكبرى Macronutrients

وهي العناصر التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة وتشمل عناصر [(H,O,C) S, Mg, Ca, K, P, N] ويعبر عنها كنسبة مئوية او بالملغم لكل غم من المادة الجافة وعادة يبلغ محتواها حوالي 0.1-6% من المادة الجافة (اي من 1-60 ملغم/غم من المادة الجافة).

1-1.1.7 النتروجين Nitrogen (N)

(أ) فكرة عامة

النتروجين عنصر غازي غير معدني ويعتبر من اهم العناصر الغذائية الضرورية للنبات بعد عناصر الكربون والهيدروجين والاوكسجين. والنتروجين واسع الانتشار في الطبيعة وهو يكون حوالي 79% من حجم الغلاف الجوي. وكان الرأي السائد في الماضي هو أن المصدر الاصلي لنتروجين التربة هو الغلاف الجوي غير ان (1970, Delwiche) قد اشار الى ان كمية كبيرة من النتروجين توجد على شكل مثبت في قشرة الارض (Lithosphere) في الصخور والمعادن والترسبات. وطبقاً لما ذكره هذا العالم فإن الغلاف الجوي يحتوي على حوالي 3.8×10^{15} طن من النتروجين في حين يحتوي الجزء اليابس من القشرة الارضية مايعادل 18×10^{15} طن. غير ان محتوى الترب الزراعية من النتروجين هو قليل جداً ولايتجاوز 0.1 الى 0.5% ومن هذا الجزء الضئيل فإن المقدار الصالح منه للامتصاص قليل أيضاً. يوجد نتروجين التربة على شكل نترات او امونيوم وهما الصورتان اللتان يمتصهما النبات بدرجة اساسية. وفي الترب الخصبة قد يحتوي محلول التربة على 2–20 مليمول من النترات. وعادة بعد اضافة الاسمدة يبلغ محتوى محلول التربة

من النترات حوالي 20-30 مليمول . اما تركيز محلول التربة من النترات فغير ثابت وعرضة للتغير نتيجة لتغير فصول السنة ولتغير درجات الحرارة وكذلك نتيجة لنشاط أحياء التربة نفسها وكذلك حسب كمية الامطار الساقطة حيث تكون النترات عرضة لعملية الغسل (Leaching) ولذلك فهي تتجمع في طبقات التربة العليا في فترات الجفاف .

لقد وجد (1975,Casper) إن جاهزية النترات تقل تحت المستويات المنخفضة من رطوبة التربة . وكذلك تكون النترات عرضة للتحولات المستمرة سواء بالاختزال الى امونيا او الى النتروجين (N_2) والذي يتطاير ويفقد الى الجو بعملية نزع النتروجين (Denitrification) .

ولفهم كثير من الامور المتعلقة بعنصر النتروجين يفضل الرجوع الى دورة النتروجين في الطبيعة حيث ان النتروجين عنصر سريع الحركة مابين الغلاف الجوي والتربة والنبات والحيوان واحياء التربة .
والشكل (7-1) يوضح دورة النتروجين في الطبيعة .

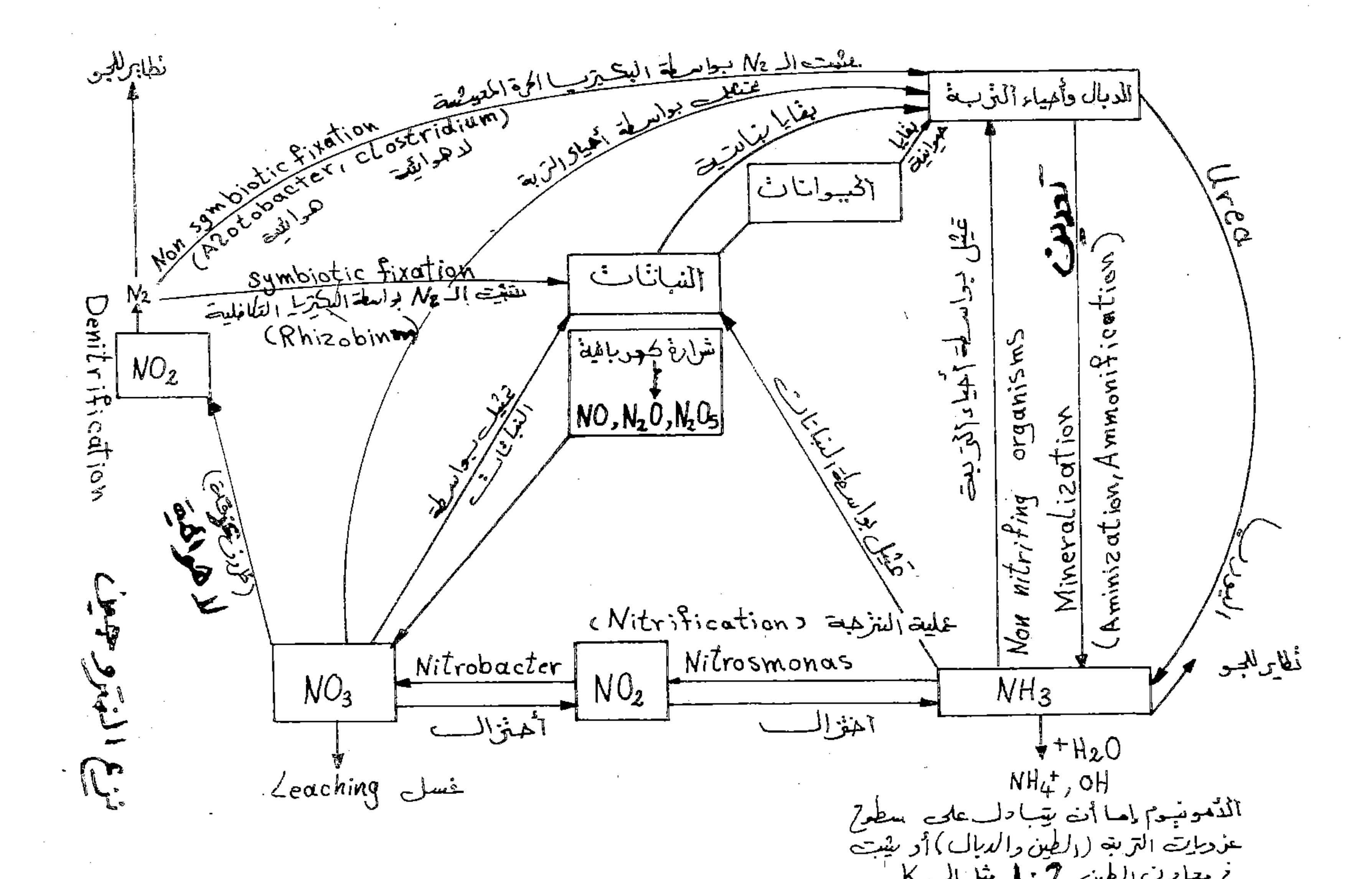
(ب) عملية التعدين **Mineralization**

ان المصدر الاساس لنتروجين التربة هو المادة العضوية وكذلك احياء التربة الدقيقة التي تقوم بتثبيت النتروجين الجوي . وحيث ان النتروجين يمتص بالدرجة الاساس من محلول التربة بواسطة جذور النبات على شكل نترات وامونيوم ولذلك فإن نتروجين المادة العضوية يكون غير جاهز للامتصاص ويجب ان تحدث عملية معدنة بمعنى تحويل النتروجين العضوي الى نتروجين معدني . ان معدنة المركبات النتروجينية العضوية تتم على خطوتين :

1) تحلل المادة العضوية الى احماض امينية والتي يطلق عليها (Aminization) أو (Proteolysis) .
2) تحول الأحماض الامينية الى أمونيا ويطلق على هذه العملية (Ammonification) ويمكن توضيح الخطوتين كما يلي :

1) Soil Organic N ————» R-NH_2 + CO_2 + Other substances + Energy.

2) R- NH_2 + H_2O ————» NH_3 + R−OH+Energy.



شكل (1-7) دورة النتروجين في الطبيعة

ويتضح من العمليتين تحرر الطاقة والتي تستهلك من قبل الكائنات الحية المجهرية التي تستخدم الكربون العضوي كمصدر للطاقة اي ان هذه الاحياء غير ذاتية التغذية (Heterotrophic) .

هذا وتعتمد عملية التعدين اي تحرر النتروجين غيرالعضوي من مركباته العضوية وتكون (NO_3^-, NH_4^+) على النسبة بين $\frac{N}{C}$ فكلما زادت هذه النسبة كلما كانت المادة العضوية غنية بالنتروجين كلما زادت كميات (NO_3^-, NH_4^+) المتحررة (Dijk 1968, Van) .

ان كمية النتروجين الناتجة من عملية التعدين تتوقف على نوع التربة وكمية المادة العضوية ونسبة $\frac{N}{C}$ كما ذكر ودرجة الحرارة ونسبة الرطوبة وكذلك على الظروف المناخية . وبناء على ذلك ففي الوقت الذي لا تتجاوز فيه عملية التعدين في بعض المناطق او السنوات بضع كيلوغرامات بالهكتار نجدها قد تصل الى مايقارب من 100 كغم في مناطق اخرى تحت الظروف المثالية . فقد سجلت معدلات عالية لعملية التعدين تحت الظروف الدافئة والرطوبة والزراعة بالجت او البرسيم بينما كانت المعدلات منخفضة جداً في الفترات الحارة والباردة والزراعة بالنجيليات كما يجب ان يلاحظ ان عملية التعدين قد تختلف من سنة الى اخرى ولهذا السبب فانه ليس غريباً بان التربة التي قد تجهزنا بمقدار 40 كغم N بالهكتار الواحد قد تجهزنا بضعف هذه الكمية في سنة اخرى (Vomel, 1966) .



(جـ) النترتة (النترجة او التأزت) Nitrification

الامونيا الناتجة من عملية الـ (Ammonification) اما ان تذوب في الماء متحولة الى هيدروكسيد الامونيوم $NH_3 + H_2O \longrightarrow NH_4OH$ والتي يمكن ان تمتص من محلول التربة على شكل ايونات الامونيوم (NH_4^+) او يمكن ان تتطاير الى الجو ثانية على صورة غاز الامونيا (NH_3) او ان يثبت الامونيوم (NH_4^+) بين صفائح الطين 1:2 مثل الايلايت (Illite) أو المونتموريللونايت (Montmorillonite) أو ان تتحول الامونيا (NH_3) الى نيتريت (NO_2^-) بواسطة بكتريا النتروزوموناس (Nitrosomonas) ومن ثم تحول (NO_2^-) الى نترات (NO_3^-) بواسطة بكتريا النتروباكتر (Nitrobacter) . ان اكسدة الامونيا (NH_3) الى (NO_3) يطلق عليها عملية النترتة (النترجة او التأزت) (Nitrification) .

ويذكر ان بكتيريا النترتة هي بكتيريا ذاتية التغذية (Autotrophic) وتحد
على الطاقة اللازمة لها من اكسدة الاملاح غير العضوية وهي بكتيريا هوائية ولذ
فإن عملية النترتة تكون معاقة في الترب الغدقة مثل حقول الرز .
ويمكن توضيح عملية النترجة كالاتي :

$$2NH_4^+ + 3O_2 \longrightarrow 2HNO_2 + 2H_2O + 2H^+ + energy$$

$$2\ HNO_2 + O_2 \longrightarrow 2H^+ + 2NO_3^- + energy$$

$$Net\ 2NH_4^+ + 4O_2 \longrightarrow 2NO_3^- + 4H^+ + 2H_2O + energy$$

ويذكر ان عملية النترجة تؤدي الى تحرر ايونات الهيدروجين مما يؤدي الى زيادة حموضة الوسط .

تشير بعض الدراسات الى ان كل الامونيا أو الامونيوم قد تتحول في غضو اسبوعين الى نترات . ولاشك ان العملية بحد ذاتها قد ينظر اليها على انها ؛ تكون ضارة من الناحية الاقتصادية وذلك لان صورة النترات قد تكون معرض بدرجة كبيرة لعمليات الفقد سواء بالغسل (Leaching) حيث تنزل النترات ا الاعماق بعيداً عن متناول جذور النباتات وخاصة للمحاصيل ذات الجذور السطح كالنباتات الحولية مثل النجيليات ومحاصيل الخضر أو قد تفقد نتيجة عملية نز النتروجين من النترات (Denitrification) حيث يتطاير النتروجين الجزيئي (N_2) الى الهواء الجوي ويتم ذلك تحت الظروف الغدقة اللاهوائية مثل حقول الرز

وتعتبر عملية (Denitrification) من اهم مصادر فقد النتروجين والتي تقد كميتها بحوالي 5 الى 50% من كمية الاسمدة النتروجينية المضافة . ولذلك فهنال اتجاه في الوقت الحاضر الى استخدام مواد معينة تسمى تجارياً بالـ (N-SERVE) والتي من شأنها تقليل او أيقاف عملية النترتة كما ان هناك دراسات في الوقت الحاضر وخاصة في استراليا لايقاف عملية النترتة نتيجة لتشعيع التربة بأشعة كام (-) او حتى لايقاف عملية نزع النتروجين (Denitrification) .

كذلك تستخدم مانعات النترتة لابقاء محتوى المحاصيل من النترات واطئا وخاصة المحاصيل الورقية مثل السبانغ او محاصيل العلف التي يتغذى عليها الحيوان خوفا من السمية التي تسببها النترات للانسان والحيوان . هذا ويرتأي عدد

من الباحثين بألا يزيد محتوى نباتات العلف من النترات عن 0.2% من المادة الجافة . فقد لوحظ ان التراكيز من 0.34 الى 0.2% كانت سامة للحيوانات وبالنسبة للانسان فقد بينت معظم القوانين في البلدان الصناعية بألا يزيد محتوى النترات عن 400 ملغم / كغم من المادة الجافة وبالنسبة للاطفال فان الحد الحرج المسموح به هو 250 ملغم NO_3 / كغم من المادة الجافة . وبالنسبة للانسان والنبات والحيوان فالحد المسموح به من الامونيا هو من 0.1 الى 0.3 ملغم NH_3 / م^3 من الهواء الجوي (Bergmann, 1983) .

(د) تثبيت النتروجين الجوي بيولوجياً

Biological Nitrogen Fixation

تلعب احياء التربة المجهرية (Soil Microorganisms) دوراً مهماً في اغناء التربة بعنصر النتروجين حيث انها تقوم بتثبيت النتروجين الجوي ويقدر العلماء مايثبت من النتروجين الجوي بيولوجياً (اي بفعل احياء التربة الدقيقة) بحوالي 172 مليون طن من النتروجين سنوياً وهذا يبلغ 4-5 أضعاف مقدار الكمية التي تثبت صناعياً اي نتيجة صناعة الاسمدة الكيمياوية النتروجينية Mengel and Kirkby 1982,) .

كما يقدر العلماء ان 90 ٪ من النتروجين المثبت بيولوجياً يعود الى البكتيريا التكافلية (Symbiotic) والتي تعود الى الجنس **(Rhizobium)** وان 10% فقط تساهم به البكتيريا الحرة المعيشة (Free Living Bacteria) والتي منها الـ **(Azotobacter)** والـ **(Clostridium)** . كما اشارت الدراسات الى ان 90% من النتروجين المثبت بواسطة الرايزوبيوم والتي تعيش على جذور النباتات البقولية يذهب للنبات البقولي العائل (Host Plant) اثناء موسم نموه والـ 10% الاخرى من النتروجين المثبت يستهلك من قبل الرايزابيوم نفسها والذي يعود بدوره ثانية الى التربة بعد موت وتحلل هذه البكتيريا بفعل احياء مجهرية اخرى .

اما بالنسبة للبكتريا الحرة المعيشة (الازوتوباكتر والكلستربريوم) فإنها تستغل كل النتروجين المثبت بواسطتها مباشرة وعند موتها وتحللها يعود ما بها من نتروجين الى التربة .

وبالنسبة لكمية النتروجين المثبتة بواسطه البكتيريا حرة المعيشة فلا يتجاوز عدة كيلوغرامات في الهكتار في السنة في المناطق المعتدلة وقد يصل من 20 الى 40 كغم N / هكتار في المناطق الاستوائية مثل غابات الامازون في البرازيل . غير

$N \equiv N$ Molecular N_2

↓ ← $2e^-$

$^-N = N^-$ N_2–Anion

↓ ← $2H^+$

$HN = NH$ Diimide

↓ ← $2e^-$

$^-HN - NH^-$ Diimide-Anion

↓ ← $2H^+$

$H_2N - NH_2$ Diamine

↓ ← $2e^-$

$^-H_2N - NH_2^-$ Diamine-Anion

↓ ← $2H^+$

$2NH_3$ Ammonia

شكل (2.7) كيمياء تثبيت النتروجين الجوي بواسطة احياء التربة المجهرية محور عن : (Mengel, 1968)

ان مايثبت من النتروجين بواسطة البكتيريا التكافلية قد يصل من 100 الى 400 كغم N هكتار / سنوياً في المناطق المعتدلة تحت الظروف الملائمة عند زراعة التربة بالجت أو البرسيم . ومن هنا يتبين مدى اهمية النباتات البقولية في الدورة الزراعية . والشكل (2ـ7) يوضح كيمياء تثبيت النتروجين الجوي بواسطة احياء التربة المجهرية وفيا يلي اهم العوامل التي تؤثر على بكتيريا العقد الجذرية المثبتة للنتروجين (الرايزوبيوم) :

1) نوع السلالة وفعاليتها حيث ان لكل محصول بقولي سلالة متخصصة عليه .
2) تخصص العائل حيث ان كمية النتروجين المثبتة في الجو تتوقف على نوع المحصول وان السلالة الواحدة تختلف في قدرتها على تثبيت النتروجين الجوي باختلاف المحصول (باقلاء ــ حمص ــ جت ... الخ) .
3) التهوية والمعروف ان الرايزوبيوم هي بكتيريا هوائية ومن هنا يتبين مدى اهمية بزل الترب الزراعية .
4) انسب درجة حرارة هي من 18-28° م ولكنها قد تنمو في درجات حرارة مختلفة من صفر الى 50° م .
5) انسب درجة pH هي من 5-7 ولكنها قد تنمو في بيئات واسعة من الـ pH (3-10) .
6) وجد ان هناك علاقة بين تثبيت النتروجين الجوي وعملية التركيب الضوئي وان عملية تثبيت النتروجين تكون على اشدها عند الظهر ويتوقف عملها تماماً في الظلام .
7) تحتاج الى عناصر معدنية مثل Co , Mo , Fe, B, Mn, N, P, K, Ca .
8) اضافة الاسمدة النتروجينية بكمية كبيرة يقلل من نشاط الرايزوبيوم في تثبيت النتروجين الجوي . غير انه ينصح في البداية أو عند الزراعة اضافة كمية قليلة من السماد النتروجيني حوالي 5 كغم N / دونم لضمان تكوين مجموعة جذرية جيدة وقوية وبالتالي يتكون عليها عقد بكتيرية كبيرة الحجم وردية الشكل قليلة العدد على الجزء العلوي من الجذر وتبقى طول فترة نمو النبات وهذه كلها من مميزات السلالة الفعالة للرايزوبيوم .

ومما تجدر الاشارة اليه بالاضافة الى تثبيت النتروجين بيولوجياً فيمكن للنتروجين ان يثبت كيمياوياً ايضاً كما في طريقة (Haber–Bosch) والتي فيها يتفاعل H_2, N_2 معاً تحت ظروف حرارة شديدة وضغط عال لتكوين الامونيا وهذه الطريقة هي الاساس في انتاج الاسمدة الحاوية على الامونيوم كما يتبين فيما يلي :

حرارة وضغط

$$N_2 + 3\ H_2 \xrightarrow[\text{عوامل مساعدة اخرى}]{\text{حرارة وضغط}} 2\ NH_3$$

عوامل مساعدة اخرى

ومن هذه الامونيا يمكن الحصول على اسمدة اخرى خاصة بالنتروجين كما يتضح مما يلي :

هيدروكسيد الامونيوم $NH_3 + H_2O \longrightarrow NH_4OH$

نترات الامونيوم $NH_3 + HNO_3 \longrightarrow NH_4NO_3$

كبريتات الامونيوم $2NH_4NO_3 + H_2SO_4 \longrightarrow (NH4)_2SO_4 + 2HNO_3$,

كما يمكن الحصول على كبريتات الامونيوم من التفاعل الا تي :

$2NH_4OH + H_2SO_4 \longrightarrow (NH_4)_2\ SO_4 + 2H_2O$,

اليوريا $2NH_3 + CO_2 \xrightarrow{H_2O} C(NH_2)_2{=}O$,

وبالاضافة الى تثبيت النتروجين بيولوجياً وصناعياً فإن النتروجين الجوي يثبت نتيجة لتوليد شرارة كهربائية في الجو (Electrical discharge) في الشتاء نتيجة للبرق والتي تؤدي الى اكسدة النتروجين الجوي وتكوين اكاسيد النتروجين مثل (NO, N_2O, N_2O_5) والتي تنزل مع ماء المطر مكونة في النهاية النترات (NO_3) . والكمية المثبتة بهذه الطريقة ليست كبيرة وتقدر ببضع كيلو غرامات بالهكتار / في السنة تحت الظروف المناخية المعتدلة اما في المناطق الاستوائية فتكون الكمية المثبتة بطبيعة الحال اكثر ولكنها عموماً لا تتجاوز عشرة كيلو غرامات نتروجين بالهكتار وللسنة الواحدة .

وكما ذكر مسبقاً ان امتصاص النترات يكون افضل تحت الظروف الحامضية في حين تمتص صورة الامونيوم بدرجة افضل تحت الظروف القاعدية وعند درجة pH 6.8 يتساوى امتصاص الصورتين من قبل المحصول النامي (Mengel 1968) .

ومما تجدر الاشارة اليه كذلك انه تحت الظروف الطبيعية عندما لا يوجد فوق التربة الا عدة نباتات برية أو في حالة زراعة الترب البكر (Virgin) لاول مرة يكون نتروجين التربة كافياً لسد حاجة هذه النباتات ، ولكن عندما تستغل التربة زراعياً يصبح نتروجين التربة أو النتروجين المضاف عن طريق الظروف الطبيعية

مثل تكون النترات نتيجة البرق غير كاف لسد احتياجات المحاصيل الزراعية وبالتالي تضعف قدرتها لاعطاء اعلى حاصل واجود نوعية . ولاجل تحقيق هذا الهدف لابد من الاهتمام والعناية باضافة الاسمدة النتروجينية . غير انه يجب ان يلاحظ انه في حالة اضافة المخلفات الحقلية مثل القش بعد عملية الحصاد والدراس ولاجل الحفاظ على نتروجين التربة وعدم استنزافه من قبل احياء التربة المحللة له يجب اضافة كغم واحد نتروجين لكل مائة كغم من هذا القش (Mengel, 1968) . إن اضافة القش تزيد من نشاط الاحياء المثبتة للنتروجين الجوي (Terman and Brown, 1968) .

(هـ) تثبيت الامونيوم وغسل النترات

بعكس النترات السالبة الشحنة والمتحركة في التربة والتي تغسل الى الاعماق لا يمكن للنباتات ذات الجذور السطحية الاستفادة منها بصورة فعالة فإن الامونيوم شانه شأن الكاتيونات (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}) حيث يمدص على سطوح غرويات التربة بالاضافة الى ان الامونيوم يمكن ان يمسك بقوة كما في حالة البوتاسيوم بين طبقات معادن الطين 1:2 مثل الايلايت (Illite) والفيرميكولايت (Vermiculite) والمونتمور يللونايت (Montmorillonite) ويمكن ان يتنافس ايوني K^{+}, NH_4^{+} على جهة ارتباط واحدة نظراً لتقارب نصف قطرهما [NH_4^{+} (1.33 A°), K^{+} (1.43 A°)] حيث A° هو الأنكستروم ويساوي (10^{-7} ملم) .

إن عملية مسك الامونيوم أو البوتاسيوم بين رقائق معادن الطين 1:2 يطلق عليها عملية التثبيت وطبقاً لما ذكره (Sippola et. al., 1973) في تجاربهم على الترب الفنلدية إن مقدار ماثبت من الامونيوم في معدن الفيرميكولايت قد فاق ماثبت من البوتاسيوم وتقدر الكمية المثبتة من الامونيوم بحدود 2000 الى 3000 كغم نتروجين بالهكتار الواحد .

ونتيجة لعمليتي امدصاص (Adsorption) الامونيوم وتثبيته فإن حركة الامونيوم تكون أقل بكثير من حركة النترات ولهذا يفضل إضافتها لحقول الرز خوفاً من غسلها من ناحية وخوفاً من حدوث فقد آخر نتيجة عملية نزع النتروجين (Denitrification) التي تحدث للنترات من ناحية اخرى والتي تؤدي الى فقد نتروجين النترات على شكل غاز (N_2) الى الهواء الجوي . هذا وقد أوضح (Williams, 1970) إن محتوى ماء الصرف من النترات أكثر بمائة مرة من محتواه من الامونيوم .

مما تقدم تبين أن الظروف المناخية السائدة في المنطقة وأحياء التربة ودرجة تفاعلها (pH) ونسبة الرطوبة فيها ومحتوى التربة من الطين والدبال وكميات مياه الري أو الامطار الساقطة ونوع النباتات المزروعة (نجيليات أم بقوليات) تعد من أهم العوامل التي تؤثر في محتوى الترب من النتروجين وجاهزيته .

(و) وظائف النتروجين

يبلغ محتوى النبات من النتروجين من 2 الى 5% من المادة الجافة (أي 20 الى 50 ملغم N / غم من المادة الجافة) . وهو يلعب دوراً مهماً في حياة النبات فهو في بداية حياة النبات يعمل على زيادة النموات الخضرية حيث يكون النبات طويلاً واوراقه كبيرة وعريضة وطرية وخضراء اللون زاهية بالاضافة الى تقوية المجموعة الجذرية للنبات والتي تعتبر ضرورية جداً للنبات لتثبيته في التربة من ناحية ولامتصاص الماء والمغذيات من التربة من ناحية اخرى . أما في المراحل اللاحقة فإن النتروجين يكون ضرورياً لتحسين نوعية المحاصيل الزراعية .

غير انه يجب أن يلاحظ عدم اضافة جميع كمية السماد النتروجيني دفعة واحدة عند أو قبل الزراعة لان ذلك يؤدي الى زيادة النمو الخضري بدرجة كبيرة وقد يؤدي الى تأخير فترة النمو الثمري وبالتالي تكون النباتات عرضة لمهاجمة الحشرات والآفات الضارة الاخرى علاوة على قلة الحاصل ورداءة نوعيته . ولنفس الاسباب السابقة يجب عدم تأخير اضافة الدفعة الاخيرة من السماد النتروجيني أو زيادة كميتها وعلاوة على ماتقدم فإن الزيادة المفرطة من النتروجين تؤدي الى زيادة تكوين البروتوبلازم الناشيء من تكوين البروتين وحيث أن البروتوبلازم يحتوي على كميات كبيرة من الماء فإن ذلك يؤدي الى زيادة وجود الماء في الخلايا وبالتالي يؤدي الى زيادة ضغطها الانتفاخي (ψP) من ناحية، علاوة على سرعة تحول الكربوهيدرات الى بروتين وبالتالي لاتترك فرصة لترسيب الكربوهيدرات في جدران الخلايا فتكون رقيقة ومن السهل مهاجمتها بواسطة الآفات الضارة واختراقها كما يجب أن يلاحظ ان زيادة كمية الدفعة الاخيرة من النتروجين سوف يضر بعض الحاصيل مثل البطاطا وقصب السكر والبنجر السكري والقطن والحاصيل الزيتية الاخرى حيث أن زيادة نسبة البروتين سوف تكون على حساب كمية الكربوهيدرات والزيت من ناحية علاوة على زيادة النموات الخضرية والتي تكون على حساب كمية الحاصل نفسه ونوعيته .

ويمكن تلخيص وظائف النتروجين الفسلجية بما يلي : ـ

1 ـ يدخل في تكوين الاحماض الامينية والتي تعتبر حجر الاساس في تكوين البروتين .

2 ـ يدخل النتروجين في تكوين الاحماض النووية (DNA, RNA)

DNA = De-oxy ribonucleic acid

RNA = ribonucleic acid

3 ـ يدخل في تكوين مركبات الطاقة مثل الـ ATP ، $NADH_2$, $NADPH_2$

ATP = Adenosine triphosphate

$NADPH_2$ = Nicotine amide adenine dinucleotide phosphate

$NADH_2$ = Nicotine amide adenine dinucleotide.

4 ـ يدخل مع المغنيسيوم في تكوين جزيئة الكلوروفيل .

5 ـ يدخل في بناء الاغشية الخلوية مثل غشاء البلازما والمايتوكوندريا والبلاستيدة الخضراء وغشاء الفجوة حيث أن كل غشاء خلوي مكون من بروتين وفوسفوليبد .

6 ـ يدخل في تكوين الانزيمات حيث أن كل أنزيم يتكون من بروتين .

7 ـ يدخل في تكوين الفيتامينات وخاصة مجموعة فيتامين B المعقدة Vitamin B.Complex والتي منها (B_1 , B_2 , B_6 , B_{12}) وكذلك يدخل في تكوين فيتامين H (البيوتين Biotin) .

8 ـ يدخل في تكوين الأميدات مثل الاسباراجين والكلوتامين وهذه قد يكون لها اهمية في تخليص النبات من السمية نتيجة وجود زيادة من الأمونيا الناتجة من عملية اختزال النترات بداخل النبات .

9 ـ يدخل في تكوين مشتقات الامينات مثل الكولين (Choline) .

$(H_3C)_3\overset{+}{N}-CH_2-CH_2-OH$

(Trimethyl ethanolamine)

ومن الكولين يشتق منظم النمو المسمى تجارياً بالسايكوسيل (Cycocel) ويسمى كذلك Chloro choline chloride (CCC) ويستخدم هذا المركب حالياً على نطاق كبير في أوربا لتقليل رقاد الحنطة حيث يمنع أو يثبط تكون حامض الجبريلين (Gibberellic acid) فيجعل النباتات قصيرة وسميكة وبالتالي يقل رقادها . ويذكر أن لعملية الرقاد تأثيرات سلبية على الحاصل ونوعيته خاصة اذا حدثت في مرحلة متأخرة من نمو محصول الحنطة وخاصة في مرحلة ملء البذور واذا ماتكسرت السيقان مما يعرقل عملية انتقال المواد الواجب خزنها في البذور .

إن دخول النتروجين في تكوين الاحماض الامينية ومنها الاحماض الامين الاساسية (Essential amino acids) التي تتكون فقط بواسطة النباتات ، يستطيع كل من الانسان أو الحيوان تكوينها يعتبر على درجة كبيرة من الاهمية .

(ز) اختزال النترات **Nitrate reduction**

بعد امتصاص النترات من قبل النبات ولكي يستفيد منها يجب اولاً أن يحد عملية اختزال للنترات الى الامونيا والتي بدورها ترتبط مع حامض عضوي كيت لتكوين الاحماض الأمينية التي يتكون منها البروتين أو قد تدخل هذه الامونيا تكوين القواعد النتروجينية البيورين والبريميدين (urine, Pyrimidine ومشتقاتها التي تدخل مع السكر الخماسي الرايبوز ومجموعة الفوسفات في تكو النكليتيدات (Nucleotides) الحجر الاساس في تكوين الاحماض النووية . أو تدخل الامونيا في تكوين المركبات النتروجينية الاخرى كالاميدات والأمينات الخ .

والشكل (3-7) يوضح عملية أختزال النترات في النبات .

غير أن الدراسات الحديثة تشير الى ان عملية أختزال النترات تتم ء خطوتين حيث أن الخطوة الاولى تحدث في السايتوبلازم وفيها تتحول النترات نتريت بمساعدة أنزيم الـ Nitrate reductase كالآتي : ـ

$$NO_3^- + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow NO_2^- + H_2O$$

أما الخطوة الثانية فتتم في البلاستيدات الخضراء حيث تتحول النتريت ا أمونيا بواسطة أنزيم الـ Nitrite reductase كما يلي : ـ

$$NO_2^- + 6H^+ + 6e^- \longrightarrow NH_3 + OH^- + H_2O$$

وعليه تكون المحصلة النهائية لعملية الاختزال هي : ـ

$$NO_3^- + 8H^+ + 8e^- \longrightarrow NH_3 + 2H_2O + OH^-$$

Nitrate

$2H^+$ NO_3^- $NADPH_2$ or $NADH_2$

MO Nitrate reductase

H_2O NADP or NAD

Nitrite

NO_2^-

H_2O

Fe, Cu Cytochrome oxidase

OH ، Ferredoxin

Hyponitrite

H O- N=O

$4H^+$ $NADPH_2$ and $NADH_2$

Mn Peroxidase

H_2O NADP and NAD

Hydroxylamine

$HO-NH_2$

$2H^+$ $NADPH_2$ or $NADH_2$

H_2O NADP or NAD

Ammonia

NH_3

Aminase

COOH

O=C

H_2O R

حامض عضوي
كيتوني

COOH

HN = C Imino acid

R

$NADH_2$

NAD

COOH

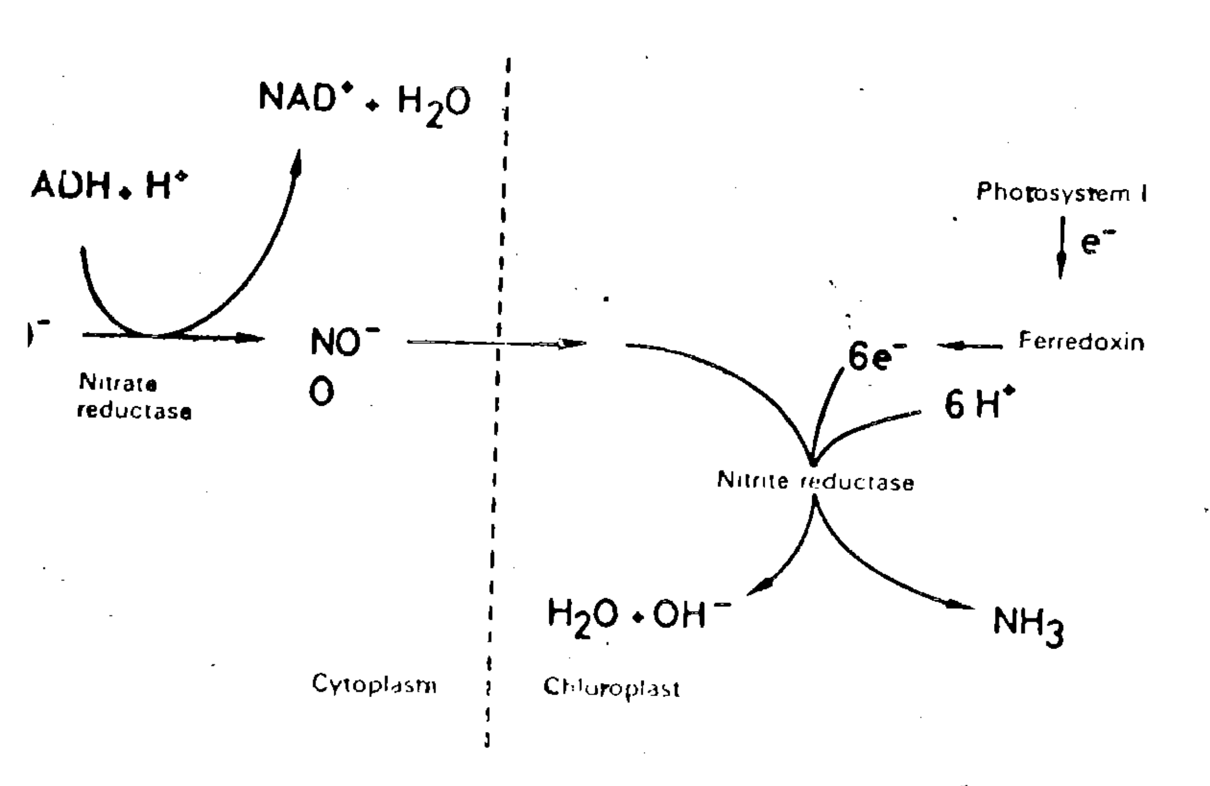
H_2N -C H Amino acid

R

شكل (3-7) يوضح أختزال النترات في النبات ثم ارتباطها مع حامض عضوي كيتوني لتكوين الاحماض الامينية عن : (Mengel, 1968) .

والشكل (7-4) يوضح المخطط الحديث لاختزال النترات في النبات .

ان الأنزيم nitrate reductase مكون من بروتين مع FAD (Flavin) ومولبدنم (Mo) وكل منها يعمل على نقل الالكترونات من القوة الاختزالية والتي هي بصورة رئيسية الـ ($NADH_2$) الى ذرات الاوكسجين العائدة الى النترات كما يتضح ذلك من الشكل (7-5) وان الـ Nitrate reductase هو انزيم ذائب وذو وزن جزيئي يقرب من 500000 الى 600000 (Beevers, 1976) وهو يحتاج الى تجهيز دائم من $NADH_2$ للمحافظة على نشاطه والـ $NADH_2$ تنتج في السايتوبلازم .



شكل (7-4) مخطط يوضح عملية أختزال النترات في النبات عن : (Mengel and Kirkby, 1982)

NADH + H⁺ FAD 2 Mo⁵⁺ NO_3^-

NAD⁺ $FADH_2$ 2 Mo⁶⁺ $NO_2^- + H_2O$

2 H⁺

Enzyme complex

شكل (5-7) يوضح أنزيم الـ **Nitrate reductase** عن : **(Mengel and Kirbky, 1982)**

ان اختزال النترات يمكن ان يحدث في الجذور وان الـ $NADH_2$ الذي يحتاج اليه يجهز بواسطة تنفس الجذر . واذا حدث اختزال للنترات في أجزاء النبات الخضراء فان ذلك يحفز تجمع الـ (Malate) في السايتوبلازم والفجوة وهذا له علاقة بامتصاص وانتقال الايونات حيث ان التغذية بالبوتاسيوم تمنع صعود الـ Malate الى اعلى وبذلك تنزل الـ Malate الى اسفل باتجاه الجذور وعند تحللها يتكون أنيون البيكربونات HCO_3^- والذي يمكنه ان يتبادل مع الانيونات وخاصة النترات وهذا يعتبر على درجة كبيرة من الاهمية فانه لرفع كفاءة النبات للاستفادة القصوى من الدفعة الاخيرة من السماد النتروجيني فيجب الاهتمام والعناية باضافة الكمية من السماد البوتاسي .

(ح) ·موعد وطريقة اضافة السماد النتروجيني :

يفضل اضافة الاسمدة النتروجينية على دفعات حيث تضاف الدفعة الاولى عند الزراعة نثراً مع جميع كمية السماد الفوسفاتي والبوتاسي ، أما الدفعة الاخيرة من السماد النتروجيني فتضاف عادة قبل الازهار بفترة وجيزة وذلك حتى تعطي

الفرصة الكافية لعملية الملء وتحسين النوعية حيث ان الهدف من الدفعة الاخيرة من السماد النتروجيني هو لتحسين النوعية اما بقية الدفعات فهي لتحسين النموات الخضرية والتي تنعكس بالايجاب على زيادة الحاصل .

(ط) اعراض نقص النتروجين :

في حالة وجود نقص النتروجين في النباتات غالباً ما يكون محتوى المادة الجافة أقل من 1.5%N (أي أقل من 15 ملغم N / غم من المادة الجافة) . إن النتروجين عنصر جيد الحركة بداخل النبات ولذلك تظهر أعراض نقصه على الجزء السفلي أي على الاوراق القديمة للنبات أو الفرع . ويكون النبات جميعه مصفراً ومتقزماً والساق ضعيفة والاوراق رفيعة وصغيرة مع ضعف المجموع الجذري للنبات وفي حالة النجيليات تكون السنابل قليلة العدد وقصيرة مع قلة عدد بذورها والبذور تكون ضامرة اي مجعدة وغير ممتلئة لقلة محتواها من الكربوهيدرات والبروتين . وفي حالة البقوليات يلاحظ عدم تكون العقد البكتيرية على جذورها . ويجب أن يلاحظ ان اعراض نقص النتروجين تبدأ على قمة وحواف الاوراق القديمة ومع تقدم اعراض النقص تتجه الاعراض باتجاه العرق الوسطي للورقة وتظهر المناطق المنخورة (Necrosis) وهي المرحلة التالية لعملية الشحوب او الاصفرار (Chlorosis) بشكل الحرف (v) . وتصفر الاوراق القديمة وتجف قبل سقوطها علماً بأنها تسقط قبل بلوغها مرحلة النضج . وفي معظم الحالات يلاحظ التفاف قمة الاوراق بشكل حلزوني باتجاه السطح العلوي للورقة وهذه اعراض نموذجية يمكن تشخيصها بسهولة في حالة الحمضيات ، كما أن ثمار الحمضيات تكون منتفخة ذات قشرة سميكة مع قلة عدد الثمار وانخفاض عصارتها مع زيادة نسبة الحموضة فيها . أما في الخيار فتكون الثمار قصيرة ومصفرة ذات نهاية مجعدة عليها اخاديد . كما يلاحظ أن أوراق نباتات اللهانة والقرنابيط وانواع البنجر والقطن والكتان تتلون بلون أرجواني شبيه بنقص عنصر الفسفور. وفي الطماطة تكون الساق رفيعة ومتصلبة مع تلون الساق وأعناق الاوراق بلون ارجواني . وتتساقط الاوراق والازهار في وقت مبكر والثمار تكون صغيرة الحجم وتظل لفترة طويلة خضراء باهتة ثم تتحول فجأة الى لون أحمر قاني .

أما السمية بالنتروجين في الطماطة فتؤدي الى عدم تلون الثمار بلونها الطبيعي حيث تظل المنطقة القريبة من عنق ثمرة الطماطة محتفظة بلونها الاخضر كما يلاحظ وجود بقع خضراء على ثمار البرتقال كما لوحظ تمزق ثمار التفاح .

إن التأثير السمي للامونيا يبدأ من 0.15 مليمول بينما يبلغ التركيز المميت حوالي 6 مليمول في المادة النباتية . والحد المسموح به من الأمونيا هو 0.1 الى 0.3 ملغم NH_3 / م^3 من الهواء الجوي .

والسمية بالأمونيوم تسبب موت موضعي على قمة وحواف الاوراق وذات لون مبيض في حين أن السمية بالنترات تكون ذات لون بني أما السمية بالـ NO_2^- فلونها مصفر . والتأثير السمي للأمونيا يوقف كذلك عملية الفسفرة .

(ي) علاج نقص النتروجين :

يمكن علاج نقص النتروجين اما باضافة الاسمدة النتروجينية للتربة أو رشها على النباتات مباشرة (Foliar application) حيث يمكن استخدام أسمدة كبريتات الامونيوم (N%21) أو اليوريا (N%46) أو نترات الامونيوم (N%33) ويفضل سماد نترات الامونيوم للعلاج السريع لاحتوائه على صورتي الامتصاص لعنصر النتروجين وفي حالة اضافة هذه الاسمدة رشا على أوراق النباتات يفضل الا يزيد تركيز محلول الرش عن 5% بأي حال من الاحوال خوفاً من حدوث سمية نتيجة زيادة التركيز وفي المعتاد تزول أو تتلاشى اعراض نقص النتروجين بسرعة جداً في غضون أسبوع الى عشرة ايام .

2.1.7- الفسفور **Phosphorus (P)**

(أ) فكرة عامة :

يوجد الفسفور في التربة بحدود 0.02 والى 0.15% وقد تتراوح نسبته من 0.04 الى 0.20% فسفور في التربة العضوية . وهو يوجد اما في صورة عضوية او معدنية وتشكل الصورة العضوية حوالى 20 الى 80% من الفسفور الكلي (Williams ,1959) .

وعموماً يمكن تقسيم اشكال الفسفور في التربة الى : ـ

1 ـ الفسفور الذائب

وهو الفسفور الموجود في صورة أيونية اي حرة في محلول التربة على شكل $H_2PO_4^-$ أو HPO_4^{2-} والجاهزة (available) مباشرة للامتصاص بواسطة جذور النبات .

ان كمية الفسفور الذائب في محلول التربة قليلة جداً وعادة تتراوح من 0.3 الى 3 جزء بالمليون في الترب الزراعية وهذا يعادل 10^{-5} الى 10^{-4} مول (**Hossner et, al** ,1973) وتتوقف النسبة بين الايونين السابقين على تفاعل التربة

(pH) ، حيث تسود الصورة الاحادية في الـ pH الحامضي في حين يزداد تواجد الصورة الثنائية التكافؤ في الـ pH القاعدي . وعند pH (7) يتساوى تواجد الصورتين في محلول التربة . ويمثل تركيز الفسفور في محلول التربة شدة الفسفور (Intensity) .

٢ ـ الفسفور غير المستقر او المتغير **(Labite pool)**

وهو الفسفور الممدص على السطوح وفي حالة توازن مع الفسفور الذائب . إن المادة العضوية في التربة تزيد من جاهزية

الفسفور حيث يمكنها أن ترتبط مع عناصر الـ Ca و Mg و Fe و Al في صورة مركبات مخلبية وبالتالي تقلل من فرصة ارتباط هذه الايونات مع الفسفور وتحد من تكوين الصور المعقدة غير الجاهزة للامتصاص . كما وجد ان السليكات تزيد من جاهزية الفوسفات في التربة وللنبات . والجدول (7-1) يوضح اهم المعادن الحاوية على الفسفور .

جدول (7-1) يوضح اهم المعادن الحاوية على الفسفور مأخوذ من (Mengel and Kirbky, 1982)

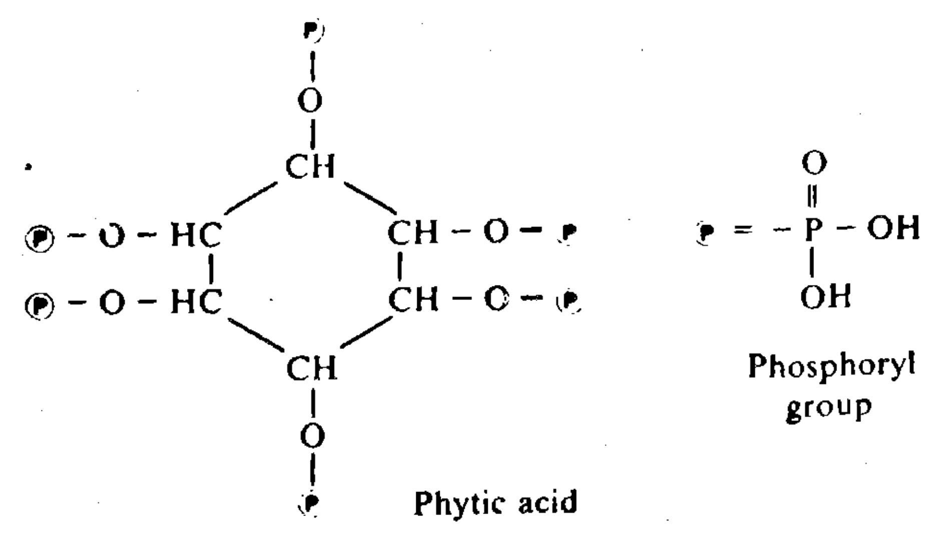
Hydroxyapatite	$2\ [Ca_5(PO_4)_3OH]$
Fluorapatite	$2\ [Ca_5(Po_4)_3F]$
carbonate apatite	$2\ [Ca_5(PO_4)_3\ CO_3]$
Dicalcium phosphate	$CaHPO_4$
Tricalcium phosphate	$Ca_3(PO_4)_2$
Strengite	$Fe\ PO_4\ .\ 2H_2O$
Variscite	$AlPO_4\ .\ 2H_2O$

وعموماً يشكل الفسفور المعدني حوالي 0.12% P في الصخور النارية في المتوسط وأن معدن الاباتيت يشكل 95% منها .

3- الفسفور غير الذائب (non-Labile pool) ويشمل فوسفات الاباتيت وقسم من مشتقات الالمنيوم والحديد والفسفور العضوي .

أما الصورة العضوية للفسفور فتوجد في صورة املاح الكالسيوم والمغنسيوم لحامض الفايتيك (Phytic acid) والذي يسمى الفايتين .

الـ Phytic acid عبارة عن استر حامض الفسفوريك السداسي والمشتق من الأيونوسيتول كما هو موضح في الشكل (7-6) .



شكل (7-6) توضيح لتركيب حامض الفاتيبيك .
عن : (Mengel and Kirbkg, 1982)

اما المحتوى الاعتيادي للفسفور في المادة الجافة فانه يتراوح 0.2-0.5%P واذا انخفض المحتوى عن 0.2%P في المادة الجافة وخاصة الخضروات فيحدث نقص الفسفور فيها . وعموماً الاعضاء الثمرية تحتوي على الفسفور أكثر من بقية اجزاء النبات الاخرى فقد وجد بأن بذور الحنطة والقطن تحتوي على 80% من الفسفور الكلي في النبات في مرحلة النضج (1968, Mengel) .

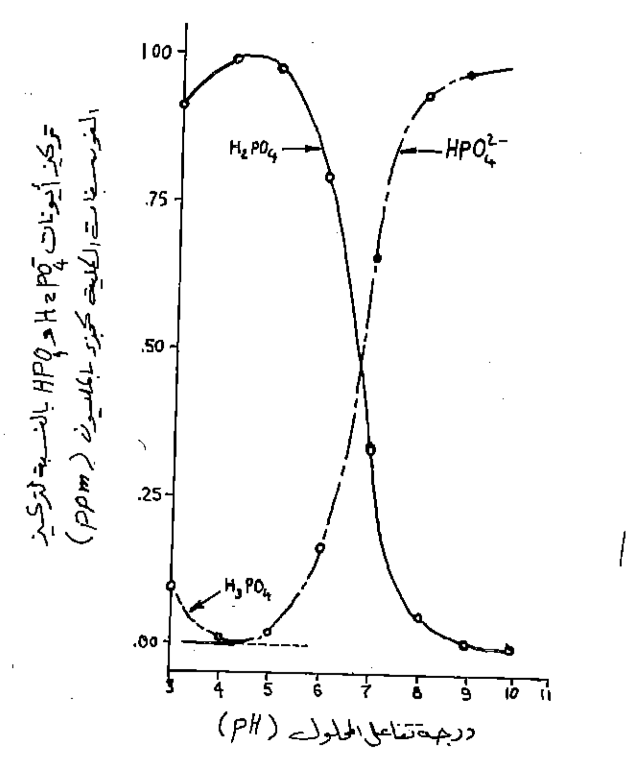
ولهذا السبب فإن المحتوى 2% P في بذور النجيليات يعتبر محتوى اعتيادي ويخزن فيها الفسفور في صورة الفاينين كما ذكر مسبقاً ولا يمثل هذا المحتوى أي سمية في هذه الحالة . في حين وجد ان المحتوى 3% P في المادة الجافة في الاجزاء الهوائية للحنطة قد سبب سمية بالفسفور فيها حيث أدى الى ذبول النبات (1983, Bergmann) . وكميات كبيرة من الفسفور النباتي قد تصل حوالي 80% تكون قابلة للذوبان لذا ننصح ربات البيوت والمشرفين على طهي الطعام بضرورة عدم التخلص من الماء المستخدم في طهي الخضروات .

إن مياه البحر تحتوي على حوالي 60 ملغم P/ م^3 وتقدر الكميات التي تفقد سنوياً في مياه البحار بالملايين من الاطنان فعلى سبيل المثال في ألمانيا الغربية حوالي 7000 طن في نهري الراين والألب . غير أن عظام الاسماك تعتبر مصدراً للفسفور ومما يذكر أن اول سماد كيمياوي للفوسفات حضره العالم الألماني ليبيك (Liebig patent manure) من العظام . وهناك 35 دولة تحتوي على خامات الفوسفات في العالم وأهم هذه الدول هي :

الولايات المتحدة الامريكية
الاتحاد السوفيتي
المغرب
تونس
الاردن
العراق

هذا وتعتبر ايونات الزرنيخات AsO_4 والسليكات والبيكربونات من أهم الانيونات التي تزاحم أنيونات الفوسفات في عملية الامتصاص في حين وجد أن لايونات المغنيسيوم تأثير تحفيزي حيث أنها تساعد في تحويل الفسفور المعدني الممتص الى فسفور عضوي . ولقد وجد أنه بعد عشر دقائق فإن حوالي 80% من الفسفور المعدني الممتص قد مثل وحول الى صورة عضوية ويعتبر الـ Glucose-1-Phosphate اول مركب عضوي للفسفور يتكون في داخل النبات عند عملية هدم النشأ (Mengel and Kirkby 1982) .

غير أن اول مركب يتكون في عملية التركيب الضوئي هو حامض الكلسرين المفسفر (3-Phosphoglyceric acid) والشكل (7-7) يوضح العلاقة بين $H_2PO_4^-$,HPO_4^{2-} و pH محلول التربة .



شكل (7.7) توضيح العلاقة بين تركيز ايونات الفوسفات $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , pH محلول التربة .
عن : (Tisdale and Nelson, 1975)

ويتضح من الشكل انه عند 5 pH ينعدم تقريباً وجود الصورة الثنائية التكافؤ وبالمثل فعند 9 pH وأكثر تكاد تتلاشى الصورة الاحادية التكافؤ .

ومما تجدر الاشارة اليه أن حركة الفسفور في التربة بطيئة ولهذا السبب فإن الكميات التي تغسل سنوياً من الفسفور تكاد تكون قليلة جداً (من 1-2 كغم p / هكتار) . وطبقاً لذلك فإنه يمكن اضافة الاسمدة الفوسفاتية في اي فصل من فصول السنة حتى في الشتاء او الخريف لبساتين الفاكهة دون خوف من عمليات الفقد بمياه الامطار حتى ولو كانت غزيرة .

(ب) كيفية زيادة قدرة النباتات للاستفادة من الفسفور

لرفع قدرة النباتات للاستفادة القصوى من فسفور التربة اوالاسمدة الفوسفاتية المضافة فينصح باتباع الآتي :

1) اضافة المادة العضوية
حيث انها تميل لتكوين مركبات مخلبية مع عناصر الـ Fe, Mg, Ca أو Al من ناحية ومن ناحية تأثيرها على تفاعل التربة وزيادة انتاج غاز CO_2 او أيونات الهيدروجين والتي بدورها تزيد من درجة ذوبان صور الفسفور المعقدة .

2) اضافة الكبريت الزراعي
وخاصة للترب ذات المحتوى العالي من $CaCO_3$ حيث يتأكسد هذا الكبريت بفعل بكتيريا الكبريت الى حامض الكبريتيك مما يؤدي الى نقص تفاعل الترب القاعدية أي تقريبها الى نقطة التعادل مما يزيد من جاهزية فسفور التربة .

3) اختيار اصناف ذات مجموعة جذرية جيدة متفرعة ومتشعبة ومتعمقة في التربة وذات قدرة أكثر على افراز أيونات الهيدروجين وهذه عوامل مهمة تعمل على زيادة جاهزية وامتصاص الفسفور من التربة .

4) ضرورة اضافة الفسفور تلقيماً أي في حفر وعلى عمق مناسب بالقرب من جذور النباتات .

5) تلويث الجذور بالفطريات حيث أن الهيفات (hyphae) الناتجة تقوم بامتصاص الفسفور وتزود النبات به . ومن أهم هذه الفطريات هي : -

Endotrophic mycorrhizal fungi
,Glomus macrocarpa
,Glomus mosseae

لقد وجد أيضاً ان عدداً من الكائنات الحية الدقيقة والتي لها القدرة أو القابلية على انتاج أحماض عضوية او مواد مخلبية أو كليهما قد تؤدي الى زيادة ذوبان الاسمدة الفوسفاتية المضافة مثل :

Aspergillus niger
Escherichia freundi
Penicillium, Pseudomonas (1974 Subba Rao)

6) ضرورة الاهتمام بالري

حيث أوضحت بعض الدراسات التي قام بها الباحثون في الهيئة العامة للبحوث الزراعية التطبيقية أن كل رية اضافية قد أدت الى زيادة محصول الحنطة بحدود 5% .

ويمكن تلخيص اهم العوامل التي تؤثر على جاهزية فسفور التربة بما يلي : ـ

1) تفاعل التربة (pH) .
2) محتوي التربة من كربونات الكالسيوم $CaCO_3$.
3) محتوى التربة من الاكاسيد نصف الثلاثية (Sesquioxides) وهي اكاسيد الحديد والالمنيوم (Fe_2O_3, Al_2O_3) . حيث تقل جاهزية الفسفور بزيادة كل من كربونات الكالسيوم والاكاسيد نصف الثلاثية .
4) المادة العضوية

وهي تؤثر على pH التربة من ناحية كما في حالة $CaCO_3$ ومن ناحية اخرى فإن ماينتج من احماض عضوية ومركبات مخلبية والتي يمكن بواسطة الاحماض العضوية التفاعل مع الفوسفات غير الذائبة (non-Labile pool) والعمل على الاستفادة منها ولو جزئياً . اما المركبات المخلبية فتزيد من حركة وجاهزية فسفور التربة نتيجة لتقليل ارتباط الفسفور مع عناصر الـ Ca ، Mg ، Fe والـ Al حيث ترتبط هذه العناصر مع المادة العضوية في صورة مركبات مخلبية .

5) احياء التربة

من خلال تأثيرها على الـ pH وكذلك من خلال تلقيح أو تلويث الجذور بالفطريات وتقوم الهيفات بامتصاص الفسفور نتيجة لزيادة مساحة منطقة التلامس مع فسفور التربة وامداد النبات بهذا الفسفور الممتص من قبلها .

وكذلك من خلال هدمها لمركبات الفسفور العضوية الموجودة أصلاً في التربة او المضافة على هيئة أسمدة عضوية حاوية على الفسفور حيث تزداد درجة ذوبان مركبات الفسفور وتزداد جاهزيته بزيادة تواجد غاز ثاني اوكسيد الكاربون .

6 ـ نوعية معدن الطين السائد في الترب ان امدصاص الفسفور بالصورة الممدصة للفسفور (Labile pool) تزداد في معادن الطين 1:1 مثل معدن الكاؤولينايت وهذه الصورة غير جاهزة للامتصاص وتزداد عملية امدصاص الفسفور بطبيعة الحال كلما انخفض pH التربة أي كلما زادت حموضتها .

7 ـ صور الفوسفات نفسها حيث انها تختلف في درجة اذابتها ومدى صلاحيتها والمعروف ان الفوسفات السطحية هي انسب صور الفوسفات في التربة وهي الصورة الصالحة للامتصاص ولكنها قليلة ولا تفي بحاجة النبات من هذا العنصر .

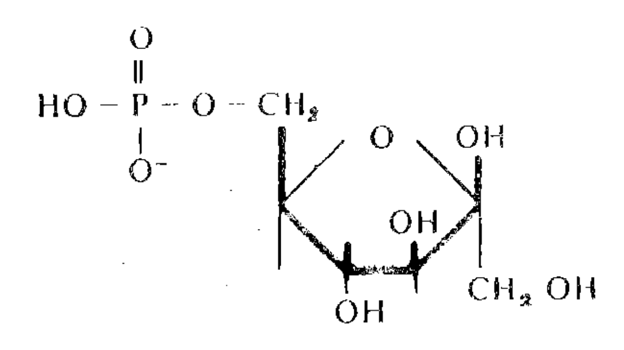
كما ان صور الأباتيت نفسها تختلف فيا بينها من حيث جاهزيتها فكما هو معروف فإن صور الفلور أباتيت هي أصعبها ذوبانا في حين ان صورة الهيدروكسيل أباتيت أكثرها ذوبانا وبالتالي اكثرها جاهزية وملاءمة للتغذية النباتية .

8 ـ رطوبة التربة وعدد الريات المستخدمة في موسم النمو كما سبق وان اشرنا الى ذلك .

9 ـ وجود أيونات المغنيسيوم والسليكات يشجع امتصاص الفوسفات ويزيد من جاهزيته في حين أن أنيونات AsO_3^- والـ HCO_3^- يكون لها تأثير تزاحمي مضاد (Antagonism) .

(جـ) وظائف الفسفور في النبات

1 ـ يكون الفسفور استرات مع مجاميع الهيدروكسيل (OH) العائدة للسكريات او الكحولات (كل من السليكون والبورون يستطيع القيام بهذه الوظيفة ايضا) والتي يعتقد ان السكريات تنتقل من اماكن تكوينها الى حيث مايحتاج النبات اليها ومن امثلة ذلك Glucose -1- Phosphate أو Fructose -6- Phosphate



Fructose-6-Phosphate

2 ــ يدخل الفسفور كما في حالة عنصر النتروجين في تكوين الاغشية النباتية مثل غشاء البلازما والمايتوكوندريا والبلاستيدة الخضراء وغشاء الفجوة وذلك في تكوين الفسفولبيدات مثل الليستِّين (Lecithin) والمبين فيما يلي : ــ .

$$\begin{array}{l} H_2C - O - CO - R \\ R' - CO - O - CH \qquad O \\ \qquad\qquad\quad H_2C - O - \overset{\|}{P} - O \,\vdots\, CH_2 - CH_2 - N^+ (CH_3)_3 \\ \qquad\qquad\qquad\qquad\quad O^- \end{array}$$

Phospatidyl | Choline

Lecithin

3 ــ كذلك يدخل الفسفور في تكوين بعض المركبات الغنية بالطاقة والتي تعمل كعوامل مشاركة للانزيمات في النبات مثل

ATP = Adenosine triphosphate

ان آصرة الـ Pyrophosphate غنية بالطاقة والتي تعطي عند تحللها مائيا حوالي 7000-10000 سعرة حرارية/ مول من الـ ATP . وهذه الطاقة اما أن تتكون نتيجة التركيب الضوئي بعملية الفسفرة الضوئية . (Photophosphorylation) او نتيجة التنفس بعملية الفسفرة التأكسدية (Oxidative phosphorylation) وهناك مركبات شبيهة بالـ ATP ومنها

CTP = Cytidine triphosphate

, UTP = Uridine triphosphate

, GTP = guanidine triphosphate

وعادة يحتاج النبات المركب (UTP) في تكوين السكروز والكالوس (Callose) اما (CTP) فضروري لتكوين الفسفولبيدات والـ (GTP) في تكوين السليلوز . وبالمثل يدخل الفسفور في تكوين الـ $NADPH_2$ $NADH_2$,

$NADH_2$ = Nicotine amide adenine dinucleotide

$NADPH_2$ = Nicotine amide adenine dinucleotide phosphoshate

وتعطي الـ $NADPH_2$ طاقة تقدر بحوالي 52000 سعرة حرارية / مول

4 ـ يدخل الفسفور في تكوين الأحماض النووية (DNA) الحامل للصفات الوراثية والـ (RNA) بأشكاله الثلاثة والمهمة في عملية تكوين البروتين .

DNA = Desoxyribonucleic acid

, RNA = ribonucleic acid

5 ـ كذلك يخزن الفسفور في الاعضاء الثمرية مثل البذور على هيئة الفايتين والذي سبق أن بينا أنه عبارة عن أملاح الكالسيوم والمغنيسيوم لحامض الفايتيك والذي يتكون خلال تكون البذور ولهذا فبعد عملية التلقيح والاخصاب مباشرة هناك زيادة واضحة في انتقال الفسفور الى البذور الحديثة التكوين .

ومما تجدر الاشارة اليه أن مركب الطاقة ATP وكذلك (GTP, CTP, UTP) والـ $NADH_2$, $NADPH_2$ والـ $FADH_2$ عبارة عن نكليوتايدات (Nucleotide) وان كل Nucleotide مكون من احدى القواعد النتروجينية كالبيورين (Purine) أو البريميدين (Pyrimidine) او مشتقاتها (مشتقات البيورين هي الادينين(Adenine) والكوانين(Guanine) ، ومشتقات البرميدين هي اليوراسيل (Uracil) والثايمين(Thymine) والسايتوسين(Cytosine) وكذلك من السكر الخماسي الرايبوز (Ribose) بالاضافة الى مجموعة الفوسفات. وبعبارة اخرى ان :

النكليوتايد = قاعدة نتروجينية + رايبوز + فوسفات .

بالاضافة الى الوظائف الفسيولوجية السابقة فالفسفور يعطي النبات قوة في النمو ويعمل على زيادة عدد التفرعات والى تقوية المجموعة الجذرية كما انه يسرع من نضج النباتات وهو كذلك يعتبر من العناصر الغذائية المهمة لتحسين نوعية الحاصلات الزراعية وعلى وجه الخصوص لون وشكل ثمار الفاكهة حيث من الصعب الحصول على ثمار ذات لون وشكل طبيعي في حالة نقص عنصر الفسفور .

(د) موعد وطريقة اضافة الاسمدة الفوسفاتية:

نظرا لبطء حركة الفسفور في التربة وعدم الخوف من تعرضه للفقد بعملية الغسل فيمكن كما ذكر اضافته في أي فصل من فصول السنة بالنسبة للاشجار المعمرة وأشجار الفاكهة، أما بالنسبة للمحاصيل الحولية والخضروات فتضاف الاسمدة الفوسفاتية غالبا قبل الزراعة حيث تنثر بعد الحرثة الاولى ثم يحرث متعامدا لقلبها وخلطها جيدا في التربة. وبالنسبة للمحاصيل التي تزرع على مروز مثل الذرة الصفراء أو القطن فيمكن اضافة الاسمدة الفوسفاتية بعد تمريز الارض وزراعتها حيث تضاف تلقيا في جور بالقرب من البذور المزروعة.

ومما تجدر الاشارة اليه ان جميع كمية الاسمدة الفوسفاتية تضاف دفعة واحدة وبدون تجزئتها الى دفعات بعكس الاسمدة النتروجينية والتي يجب أن تجزأ الى دفعات لتحسين نوعية الحاصلات الزراعية.

(هـ) أعراض نقص الفسفور:

تختلف أعراض نقص الفسفور في النباتات باختلاف أنواعها وطبقا لتركيزه في التربة وكذلك على حسب عمر النبات. حيث أن النباتات الحديثة تكون عرضة أكثر لاظهار أعراض النقص بسبب ضعف مجموعتها الجذرية في بداية حياة النبات وخاصة اذا ماتميزت هذه النباتات بنمو كثيف في بداية حياتها كما هو الحال لكثير من النباتات الحولية وخاصة الخضروات. وفي معظم الحالات يحدث تقزم للنبات كما تصبح الاوراق خضراء غامقة (أي أكثر اخضرارا من اللون الاعتيادي) وفي كثير من النباتات كالذرة الصفراء والطماطة واللهانة والقرنابيط تتلون الاوراق وأعناقها بلون ارجواني كما تتساقط الاوراق القديمة في وقت مبكر. وفي حالة النجيليات يلاحظ تلون السنابل والسفا بلون أرجواني.

أما في أشجار الفاكهة فتسقط الاوراق في وقت مبكر مصحوبة بقلة تفتح الازهار مع قلة عدد الثار وصغر حجمها كما تتساقط الثار في وقت مبكر مع تأخير النضج. وفي الحمضيات تكون الثار منتفخة ذات قشرة سميكة خاصة بالقرب من عنق الثمرة وطعم الثمرة يكون حامضي.

كما قد تتمزق الثار كما في الخوخ مع وجود بقع صمغية عليها. ونقص الفسفور يؤدي الى ضعف المجموع الجذري للنبات مع قلة تفرعات المجموعة الجذرية وتلون الجذور الجانبية بلون بني.

كما يلاحظ صغر قرص عباد الشمس وكذلك تلون زهرة القرنابيط بلون أرجواني أو بني غامق . وكذلك يلاحظ تلون أوراق العرموط والعنجاص والكوجة بلون ارجواني غامق . ويعزى اللون الارجواني الى تجمع النترات والسكريات والى زيادة انتاج وتجمع صبغة الانثوسيانين (Anthocyanin) الارجوانية* .

أما في بعض أنواع النباتات الاخرى في الكاكاو فيلاحظ تلون السطح السفلي للاوراق بلون أخضر فاتح الى ابيض مع بقاء العروق محتفظة بلونها الابيض وخاصة العروق الرئيسية .ويلاحظ ان أعناق الاوراق تشكل زاوية حادة مع الساقَ او الافرع وتدعى هذه الحالة بظاهرة الـ (Stiffness) وهذه الظاهرة موجودة كذلك في حالة نقص الفسفور والنتروجين في النجيليات حيث تشكل الاوراق زاوية حادة مع الساق الرئيسية للنجيليات .

و في حالة النقص فينصح باضافة الاسمدة الفوسفاتية مثل السوبرفوسفات الثلاثي او فوسفات الامونيوم او الاسمدة المركبة .

3.1.7 ـ البوتاسيوم Potassium (K)

(أ) فكرة عامة :

يوجد البوتاسيوم في القشرة الارضية بنسبة تقدر بحوالي 2.59% بالوزن . والبوتاسيوم يوجد اما مرتبطا في المعادن الأولية مثل الفلسبارات والميكا أو في

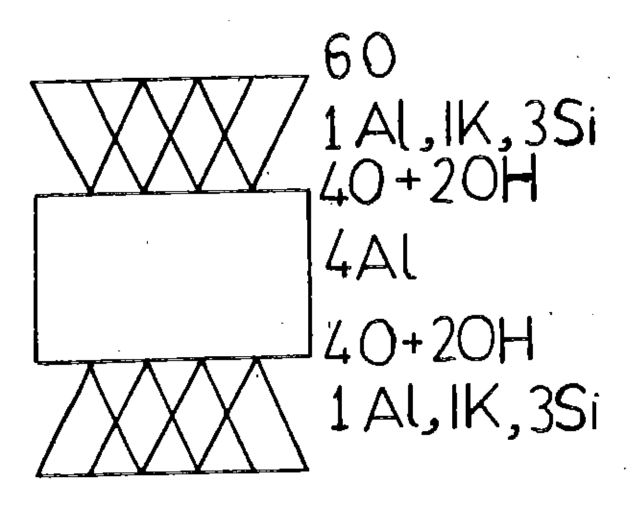
والجدول (7-2) يوضح محتوى البوتاسيوم لبعض معادن الطين الاولية والثانوية عن : (Scheffer and Schachtschabel, 1976)

نوع المعدن	المحتوى من K_2O %
الفلسبارات القلوية (البوتاسية)	4 — 15
فلسبار الصوديوم والكالسيوم	صفر — 3
المسكوفيت (K-mica) الميكا البيضاء	7 — 11
البيوتيت (Mg-mica) الميكا السوداء	6 — 10
الااليت	4 — 7
الفرميكولايت	صفر — 2
الكلورايت	صفر — 1
المونتموريللونيت	صفر— 0.5

معادن الطين الثانوية التي بدورها تشكل جزء الطين لحبيبات التربة (حجم أقل من 2 ميكرون) ومن هنا فان الترب الغنية بالطين تكون بطبيعة الحال غنية بعنصر البوتاسيوم .

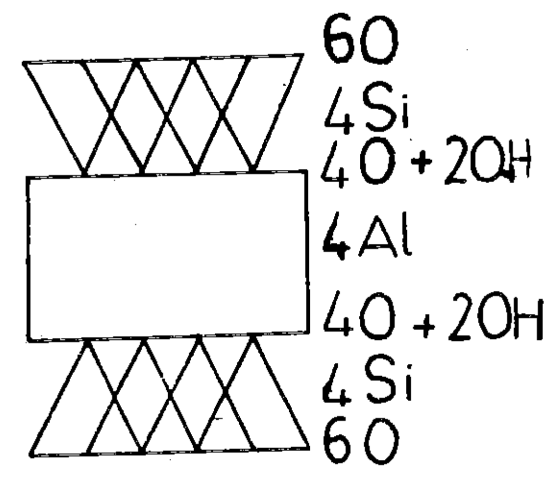
والجدول (7-2) يوضح محتوى البوتاسيوم لبعض معادن الطين الاولية والثانوية .

ان الفلسبار البوتاسي هو الأورثوكليز ($KAlSi_3O_8$) أما الفلسبار الصودي فهو الألبيت ($NaAlSi_3O_8$) أما الفلسبار الكلسي فهو الأنورثيت ($CaAl_2Si_6O_{16}$) ومما تجدر الاشارة اليه ان المعادن الاولية والثانوية المحتوية على عناصر الكالسيوم والمغنيسيوم والحديد يكون تحللها اسرع من المعادن المحتوية على البوتاسيوم او الصوديوم .



الرمز النهائي للمسكوفيت

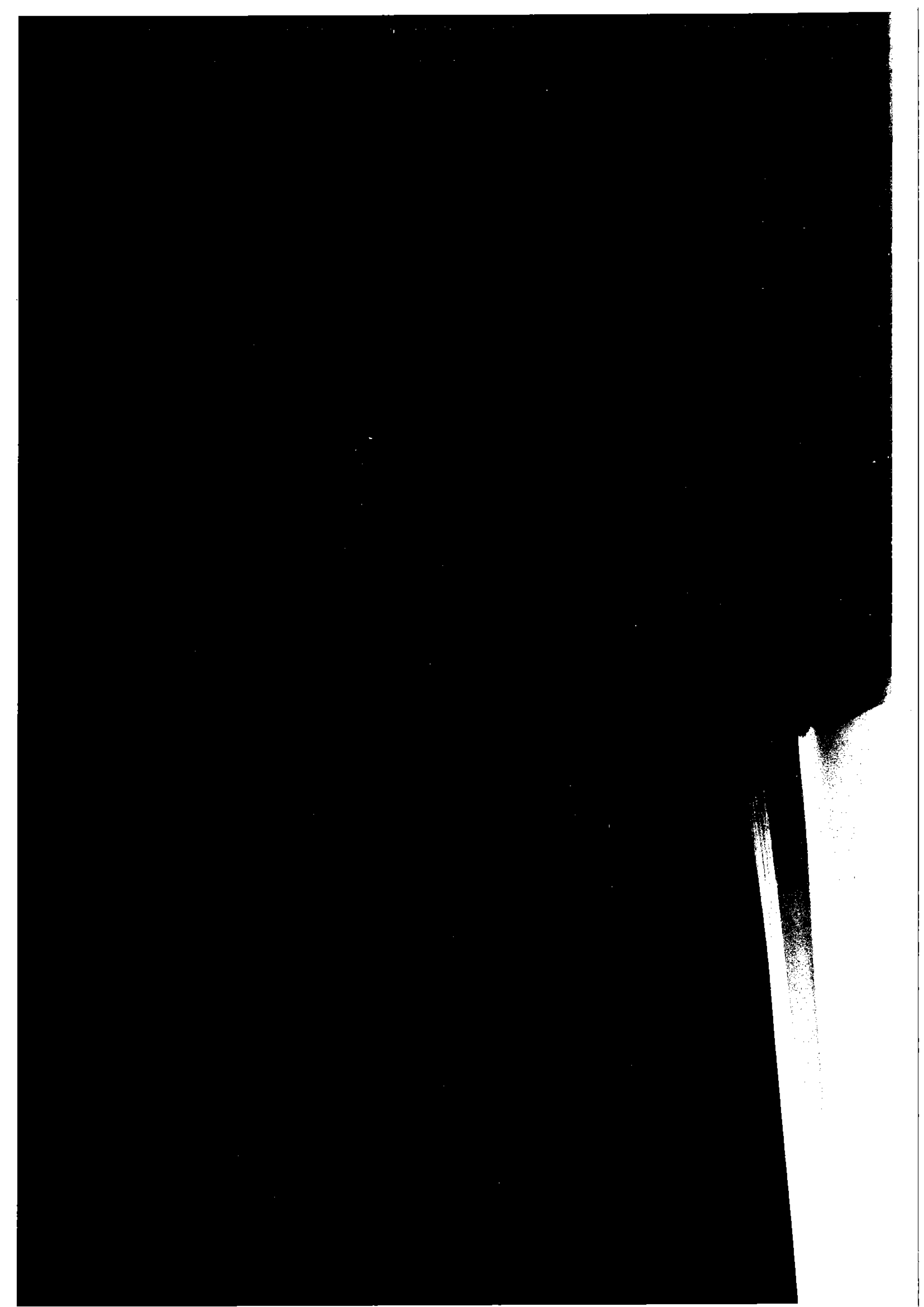
$K_2Al_2Si_6Al_4O_{20}(OH)_4$



الزمز النهائي للميكا

$Al_4Si_8O_{20}(OH)_4$

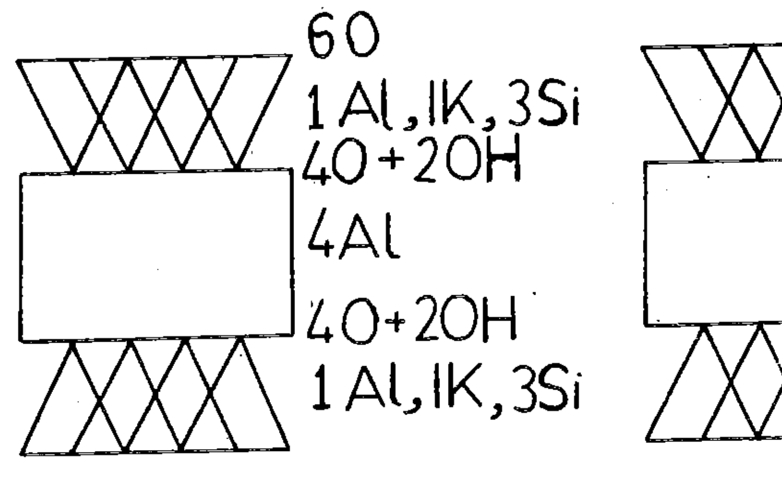
شكل (7-8) توضيح تركيب الميكا والمسكوفيت (الميكا البيضاء) محور عن : **(Mengel and Kirbkg, 1982**



معادن الطين الثانوية التي بدورها تشكل جزء الطين لحبيبات التربة (حجم أقل من 2 ميكرون) ومن هنا فان الترب الغنية بالطين تكون بطبيعة الحال غنية بعنصر البوتاسيوم .

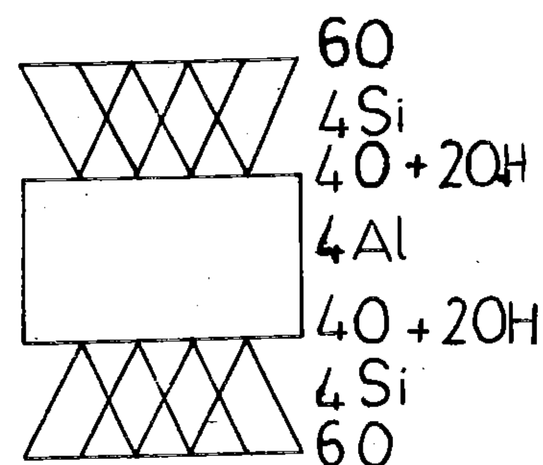
والجدول (7-2) يوضح محتوى البوتاسيوم لبعض معادن الطين الاولية والثانوية .

ان الفلسبار البوتاسي هو الأورثوكليز ($KAlSi_3O_8$) أما الفلسبار الصودي فهو الألبيت ($NaAlSi_3O_8$) أما الفلسبار الكلسي فهو الأنورثيت ($CaAl_2Si_6O_{16}$) ومما تجدر الاشارة اليه ان المعادن الاولية والثانوية المحتوية على عناصر الكالسيوم والمغنيسيوم والحديد يكون تحللها اسرع من المعادن المحتوية على البوتاسيوم او الصوديوم .



الرمز النهائي للمسكوفيت

$K_2Al_2Si_6Al_4O_{20}(OH)_4$



الزمز النهائي للميكا

$Al_4Si_8O_{20}(OH)_4$

شكل (7-8) توضيح تركيب الميكا والمسكوفيت (الميكا البيضاء) محور عن : (Mengel and Kirbkg, 1982

والمسكوفيت (الميكا البيضاء) عبارة عن ميكا تابعة الى معادن الطين والتي يحدث فيها احلال متماثل حيث يحل (1Al) محل (1Si) في طبقة السليكا تتراهيدرا وبذلك يحدث نقص بالشحنات مقداره (1) وهذا النقص يعادل بدخول (1K) وعلى هذا الاساس يصبح تركيب المسكوفيت كما هو مبين في الشكل (7-8).

هذا وتعتبر تربة البدزول (Podzol) فقيرة بعنصر البوتاسيوم كما أن تربة اللاتريت (Laterite) محتواها قليل من البوتاسيوم في حين ان التربة السوداء (Chernozem) غنية بالبوتاسيوم.

ويوجد البوتاسيوم في التربة أما ذائبا في محلول التربة او متبادلا (ممدصا) على سطوح معادن الطين أو مثبتابين رقائق معادن الطين الثانوية من نوع 1:2 مثل الايليت والمونتموريللونيت أو داخلا في البناء البلوري لكثير من المعادن الاولية مثل الفلسبارات كما بينا ذلك سابقا.

يبلغ البوتاسيوم في محلول التربة حوالي 1-2% من قيمة البوتاسيوم المتبادل وهذا بدوره يبلغ حوالي 1-2% من قيمة البوتاسيوم الكلي. ويساهم البوتاسيوم المتبادل بحوالي 2-5% من سعة التبادل الكاتيوني للتربة (CEC) (Cation exchange capacity) والتي يعبر عنها بعدد المليمكافئات/ 100 غم تربة.

وبطبيعة الحال كلما زاد محتوى التربة من الطين والدبال كلما زادت قيمة البوتاسيوم المتبادل والمثبت وهذا ينعكس ايجابيا على محتوى التربة من البوتاسيوم الذائب في محلول التربة والجاهز للنبات. حيث أن هناك توازن طبيعي بين صور البوتاسيوم المختلفة في التربة.

وعلى هذا الاساس تزداد قدرة التربة الامدادية بعنصر البوتاسيوم كلما زادت قدرتها على مسك البوتاسيوم أو تثبيته فيها وبمعنى آخر كلما زاد محتواها من الطين والدبال. إنَ معادن الطين من نوع 1:2 هي المسؤولة عن تثبيت البوتاسيوم بين وحداتها البنائية في حين ان معادن الطين من نوع 1:1 مثل الكاؤولينيت ليس لها القدرة على تثبيت البوتاسيوم ولذلك فمثل هذه الترب تكون فقيرة بالبوتاسيوم شأنها شأن الترب الرملية الفقيرة أصلا بمعادن الطين حيث في هذه الحالة يغسل منها البوتاسيوم بسرعة وبكميات كبيرة الى الاعماق ولايستفيد منه النبات. ولذلك فللترب الرملية وكذلك للترب ذات المحتوى العالي من معادن الطين 1:1 يفضل تجزئة اضافة الاسمدة البوتاسية وذلك لتقليل الفقد بعملية الغسل (Leaching).

كما ان ترب المناطق الجافة والترب العضوية الحامضية فقيرة بالبوتاسيوم حيث في حالة الترب الحامضية نظرا لزيادة تركيز ايونات الهيدروجين الناتجة من تحلل المادة العضوية فيحل الهيدروجين محل البوتاسيوم المتبادل على سطوح معادن الطين

ويتحرر البوتاسيوم الى محلول التربة وفي حالة وجود أمطار غزيرة يغسل البوتاسيوم الى الأعماق وتبدأ النباتات تعاني من نقصه وهذا موجود بالفعل في ترب المناطق الحامضية الشديدة الامطار .

وعلى هذا الاساس يمكن حصر أهم العوامل التي تحدد جاهزية البوتاسيوم فيما يلي :

1) نوع التربة ونوعية معادن الطين السائدة فيها .
2) محتوى التربة من الطين والدبال .
3) كمية الامطار الساقطة .
4) زيادة CO_2 ونقص O_2 يؤدي الى قلة أمتصاص البوتاسيوم .

ويمتص البوتاسيوم على صورة كاتيون البوتاسيوم K^+ وبالرغم من أن التربة تحتوي على كميات أعلى من الكالسيوم والمغنيسيوم الا أن محتوى النبات من البوتاسيوم يكون دائما أعلى من محتواه من الكالسيوم والمغنيسيوم وهذا يؤيد الاختيارية (Selectivity) في عملية الامتصاص الأيوني والمرتبطة بالنشاط الحيوي للنبات .

ومما تجدر الاشارة اليه ان أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم والامونيوم وكذلك الصوديوم تنافس البوتاسيوم في عملية الامتصاص والعكس صحيح كذلك . فوجود تراكيز عالية من ايونات الكالسيوم والمغنيسيوم في محلول التربة يمكنها أن تعيق امتصاص البوتاسيوم وتؤدي الى ظهور أعراض نقصه على النباتات . كما ان زيادة اضافة الاسمدة البوتاسية قد تؤدي الى ظهور اعراض نقص الكالسيوم كما هو الحال في حالة ظهور النقرة المرة (Bitter pit) في التفاح وتعفن الطرف الزهري للطماطة والفلفل والباذنجان المتسببة عن نقص الكالسيوم . هذا وان عنصر البوتاسيوم جيد الحركة في داخل النبات شأنه في ذلك شأن عنصري الـ N و P ولذلك فالأوراق الحديثة التكوين تحتوي K اعلى من الاوراق القديمة وعلى هذا الاساس فإن أعراض نقصه تظهر أولا على الاوراق القديمة السفلية كما ان النبات الحديث السن يحتوي بوتاسيوم أعلى من النبات المتقدم في نموه ، وقد وجد مثلا أن الحنطة تحتوي في مرحلة التفرع 4-5 أضعاف ماتحتويه أعضاء النبات في مرحلة النضج . غير أنه يجب أن يلاحظ أن الكمية الكلية من البوتاسيوم في النبات المتقدم في العمر أعلى من الكمية الكلية المتواجدة في النبات الحديث العمر لكثرة النسيج النباتي .

غير ان التركيز في النبات الحديث أعلى من تركيز البوتاسيوم للنبات المسن ويقال أنه حدث تخفيف في هذه الحالة نتيجة لزيادة وزن النبات الكبير والمتقدم

في السن . والمحتوى الاعتيادي من البوتاسيوم يكون غالبا من 2-6% K في مادة النبات الجافة . .

ومما تجدر الاشارة اليه أنه بالاضافة الى الفرق بين البوتاسيوم والكالسيوم فالبوتاسيوم عنصر جيد الحركة ، وعليه يكون محتوى الاوراق الحديثة اعلى من محتوى الاوراق القديمة من البوتاسيوم بعكس عنصر الكالسيوم البطيء الحركة بداخل النبات كما يوجد فرق آخر مهم بين البوتاسيوم والكالسيوم وهو محتوى الاوراق والسيقان من البوتاسيوم يكون تقريبا متقاربا في حين أن الاوراق تحتوي على كميات أعلى من الكالسيوم مقارنة بالسيقان كما يتضح ذلك من الجدول (3-7) .

جدول (3-7) يبين توزيع البوتاسيوم والكالسيوم في الاوراق والسيقان لبعض النباتات بالمليمكافيء/ 10 غم مادة جافة عن : Scharrer and Mengel,) (1960

نوع النبات	البوتاسيوم		الكالسيوم	
	الاوراق	السيقان	الاوراق	السيقان
الخيار	9.28	16.8	24.2	10.80
عباد الشمس	10.20	8.20	8.10	4.30
البزاليا	6.85	6.21	6.09	3.39
التبغ	9.62	7.03	8.63	2.02
الفاصوليا	8.06	6.39	3.04	1.05

(ب) وظائف البوتاسيوم

يؤدي البوتاسيوم وظائف عديدة بداخل النبات ,ويبدو أن عمله او دوره في النبات هو عمل تنظيمي او تحفيزي ولا يدخل مباشرة في تكوين اعضاء النبات او مركباته . وعموما يمكن القول أن دور البوتاسيوم في النبات مازال غامضا ويحتاج الى دراسة مستفيضة للكشف عن اسراره . ومع ذلك فقد توصل الباحثون الى الحقائق العلمية التالية حول دور البوتاسيوم في فسلجة النبات .

1) يوجد البوتاسيوم في صورة ايونية حرة في العصارة الخلوية للنبات ويعتبر من اكثر العناصر الغذائية مساهمة في تنظيم الجهد الازموزي للنبات وتشير الدراسات الى

أن النباتات المجهزة بصورة جيدة بالبوتاسيوم تزداد قدرتها في الاحتفاظ بالماء بسبب انخفاض معدل النتح (1972, Brag) والذي يرجع الى سيطرة عنصر البوتاسيوم على عملية فتح وغلق ثغور الورقة كما اشار الى ذلك الباحثان (1968, Fischer and Hsiao) . كما يرتأي (1969, Mengel and Pflüger) أن تجمع البوتاسيوم حتى في حالة كون تركيزه في الوسط الغذائي الخارجي واطئا يقلل من الجهد الازموزي لعصير الخشب (أي يقلل من الجهد المائي) وهذا من شأنه تشجيع امتصاص الماء من ناحية ومن ناحية اخرى يقلل من نشاط جزيئات الماء في عملية النتح أي ان وجود البوتاسيوم بتراكيز عالية في الخلايا النباتية يقلل من فقد الماء بعملية النتح وبمعنى آخر فإنه يزيد من قدرة النبات للاحتفاظ بالماء وهذا يكون على درجة كبيرة من الاهمية خاصة في حالة وجود شحة في مياه الري وكذلك في المناطق الجافة وشبه الجافة .

2 ـ أوضح عدد من الباحثين ان هناك علاقة ايجابية في تحفيز معدل عملية التركيب الضوئي وانتقال نواتجها في حالة التغذية الجيدة بالبوتاسيوم (1974, Viro) والذي يرجع بالدرجة الأساس الى تحفيز عملية تكوين الـ ATP والذي يحتاج اليه في ملء الأنابيب المنخلية بالمواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي وقد أيد هذا الاقتراح (1972, Pflüger and Mengel) اللذان لاحظا زيادة معدل عملية الفسفرة الضوئية (Photophosphorylation) والانتقال الالكتروني في عملية التركيب الضوئي في النباتات المجهزة تجهيزاً جيداً بالبوتاسيوم .

إن الـ ATP ليس فقط يكون مهماً في تجمع المواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي في الانابيب المنخلية ولكن أيضاً لعملية تمثيل غاز ثاني اوكسيد الكربون وانتقال نواتج تمثيله وتكوين المركبات ذات الاوزان الجزيئية الكبيرة فقد وجد أن هناك أكثر من 60 انزيماً لاتكون فعالة او حتى قد لاتتكون في حالة غياب البوتاسيوم (1971, Evans and Wildes) وهذا يوضح بأن هناك علاقة بين تواجد البوتاسيوم في النبات وبين عملية تكوين البروتين حيث وجد تجمع للسكريات والاحماض الامينية ذات الاوزان الجزيئية الواطئة في حالة نقص بالبوتاسيوم . كما لوحظ انه في حالة النقص الشديد حدث تجمع للامينات السامة مثل putrescine و agmatine (1971, Nowakowski) أن الـ agmatine يتكون من الـ arginine نتيجة تحرر CO_2 من الاخير كما يتضح ذلك فيما يلي : ـ

$$NH_2-C(=NH)-NH-(CH_2)_3-CH(NH_2)-COOH \xrightarrow{-CO_2} NH_2-C(=NH)-NH-(CH_2)_3-CH_2-NH_2$$

Arginine　　　　　　Agmatine

وبعد ذلك يمكن للـ agmatine أن يتحول الى Carbamylputrescine والذي بدوره يتحلل مائياً الى Putrescine ، Carbamicacid كما يلي :

$$NH_2-C(=O)-NH-(CH_2)_3-CH_2-NH_2 \xrightarrow{+H_2O} NH_2-C(=O)-OH + H_2N-(CH_2)_4-NH_2$$

Carbamylputrescine　　　　　　Carbamic acid　　　　Putrescine

وقد اوضح (Smith and Sinclair, 1967) أن مثل هذه التفاعلات تحفز عندما تزداد حموضة الخلايا النباتية أي بانخفاض الـ pH وهذا يحصل عندما يكون هناك نقصاً بالبوتاسيوم . وبالفعل فقد وجد تجمع لهذه الامينات السامة في الاوراق القديمة بشكل خاص والتي يظهر فيها نقص عنصر البوتاسيوم اولاً . ولكن هل أن تجمع هذه الامينات السامة في الاوراق القديمة للنبات هي المسؤولة عن ظهور أعراض نقصه عليها فهذا يحتاج الى توضيح والى المزيد من الدراسة .

بالاضافة الى امكانية تجمع الامينات السامة والى تراكم الاحماض الامينية ذات الاوزان الجزيئية المنخفضة والتي تؤيد كلها أهمية البوتاسيوم في عملية تكوين البروتين فقد تبين أهميته في عملية تثبيت النتروجين الجوي في العقد الجذرية للنباتات البقولية وكذلك الى عدم صعود الـ Malate الى أعلى بل نزولها الى أسفل باتجاه الجذور والتي تتحلل الى HCO_3^- والتي يمكن استبدالها بالنترات (NO_3^-) والى أهمية البوتاسيوم في تنشيط أنزيم الـ Nitrate reductase والمهم في عملية اختزال النترات بداخل النبات وبالتالي تحولها الى NH_3 والتي بدورها ترتبط مع حامض عضوي كيتوني لتكوين الاحماض الامينية والتي تعتبر حجر الاساس في تكوين البروتينات . وكذلك الدراسات التي أوضحت أهمية البوتاسيوم في فصل البروتين المتكون حديثاً عن الرايبوسوم وبالتالي إتاحة الفرصة لتكوين

بروتين جديد . كل ذلك يوضح مدى العلاقة بين عنصر البوتاسيوم وعملية تكوين البروتين .

ولهذا السبب فإنه لرفع كفاءة النباتات للاستفادة القصوى من الدفعة الاخيرة من السماد النتروجيني وتحسين نوعية الحاصلات الزراعية لابد من الاهتمام والعناية بضرورة تواجد البوتاسيوم أو حتى باضافته للنبات مع الدفعة الاخيرة من السماد النتروجيني اذا مادعت الحاجة الى ذلك وتبين أن التربة فقيرة بالبوتاسيوم الجاهز وغير كاف لسد حاجة النبات في هذه المرحلة . هذا على درجة كبيرة بالنسبة لتحسين نوعية الحنطة وكذلك بالنسبة لمحاصيل البطاطة والبنجر السكري وقصب السكر والتي يكون فيها البوتاسيوم ضرورياً لعملية نقل نواتج عملية التركيب الضوئي وعملية الملء في الاجزاء الخازنة فيها . وبالنسبة لهذه المحاصيل التي يكون حاصلها الاقتصادي هو الكربوهيدرات فهنا يجب أن تكون كميات النتروجين المضافة لها وخاصة الدفعة الاخيرة منه ليست عالية او متأخرة والا انعكست سلبياً على حاصلها من الكربوهيدرات بسبب زيادة نسبة البروتين فيها .

3 ــ من حيث علاقة البوتاسيوم في رفع كفاءة النبات في عملية التركيب الضوئي فقد وجد أن نقصه يؤدي الى تهدم البلاستيدات الخضراء وكذلك الى أهميته في رفع كفاءة النبات وتسهيل عملية تكوين الـ ATP والذي ينعكس تأثيره ايجابياً على عملية التركيب الضوئي ونقل نواتجها من أماكن تكوينها الى حيث مايحتاج النبات اليها وكذلك الى تجمع الكربوهيدرات ذات الاوزان الجزيئية الواطئة وعدم تكون الكربوهيدرات ذات الاوزان الجزيئية العالية في حالة نقصه . كما وجد أنه لكي تقوم المايتوكوندريا بوظيفتها على اكمل وجه فإنها تحتاج أيضاً الى البوتاسيوم والمعروف أن المايتوكوندريا هي المكان الذي تحدث فيه عملية الاكسدة النهائية وكما سبق أن أشرنا بأن كثيراً من الـ ATP المتكونة في النبات تنتج في المايتوكوندريا .

4ـ لقد وجد ان البوتاسيوم الى جانب الفسفور يساعد النباتات وخاصة النباتات النجيلية على مقاومة عملية الرقاد (الاضطجاع) نتيجة لمساعدته في تكوين الخلايا السكلارنكيمية وبذلك تكون الخلايا أكثر سمكاً ، بالاضافة الى ذلك فإن النباتات التي تعاني من نقص البوتاسيوم تظهر نقصاً في الانتفاخ فتكون الخلايا رخوة غير صلبة وعليه تكون مقاومة النباتات ضعيفة لظروف الجفاف كما تكون أكثر حساسية لضرر الصقيع والملوحة كما يسهل مهاجمتها من قبل الفطريات (Pissarek 1973) .

(جـ) موعد وكيفية اضافة السماد البوتاسي :

تضاف الاسمدة البوتاسية عادة بدفعة واحدة مع جميع كمية السماد الفوسفاتي والدفعة الاولى من السماد النتروجيني عند الزراعة او قبل الزراعة نثرا باليد او مع البادرة المسمدة . غير انه للترب الطينية الثقيلة ذات المحتوى العالي من معادن الطين 1:2 مثل الايليت والمونتموريليونيت وخوفا من عملية تثبيت البوتاسيوم بين رقائقها أو تبادله على سطوحها بشكل كبير وجعله انيا غير جاهز للنباتات فانه ينصح ويفضل عدم اضافته نثرا وخلطه بالتربة واضافته تلقيما في جور بالقرب من النباتات او البذور . اما في حالة الترب الخفيفة وخوفا من عملية الفقد الكبيرة التي قد تحدث له في هذه الحالة فانه يفضل اضافته على دفعات خوفا من فقده بعملية الغسل (Leaching) ، حيث ان عدد هذه الدفعات يتوقف على نسجة ونوع التربة ومحتواها من الطين والدبال وعلى نوع النبات والنوعية المطلوبة فعلى سبيل المثال يتحتم وجود البوتاسيوم بكمية كافية لرفع كفاءة نباتات الحنطة للاستفادة من الدفعة الاخيرة من السماد النتروجيني لتحسين نوعيته اما بالنسبة للشعير فيعتمد على الهدف من الزراعة (لغرض العلف ام لغرض الصناعة) ... الخ . وبالنسبة لاشجار الفاكهة او الاشجار المعمرة عموما ذات الجذور العميقة فلا فائدة من اضافة السماد البوتاسي نثرا او خلطة بالطبقة السطحية حيث لا تستفيد منه الاشجار في هذه الحالة وخصوصا اذا كان محتواها عالي من الطين وخاصة من نوع (1:2) . ولهذا يجب اضافته على اعماق مناسبة بحفر جور حول الشجرة واضافته فيها مع المراعاة التامة بعدم اتلاف جذور الاشجار .

اما أهم الاسمدة البوتاسية واكثرها شيوعا في الاستخدام فهي كبريتات البوتاسيوم وكلوريد البوتاسيوم .

وبالنسبة لظروف العراق حيث الملوحة في التربة فلا ينصح باستخدام سماد كلوريد البوتاسيوم حيث يزيد في هذه الحالة من ملوحة التربة وحتى في الترب غير الملحية فهناك نباتات حساسة للكلوريد مثل محاصيل التبغ والعنب واشجار الفاكهة والقطن والقصب السكري والبطاطا والطماطة والخيار والبصل والشليك (الفراولة Strawberry) . كما تجدر الاشارة اليه انه بالنسبة للمحاصيل التي تكون فيها تجمع الكربوهيدرات من العوامل المهمة في تكوين حاصلها الاقتصادي فيجب التسميد دائما بسماد كبريتات البوتاسيوم لان ايون الكلوريد يعرقل انتقال المواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي الى الدرنات . إن ما ينطبق على محصول البطاطة ينطبق على كل المحاصيل والتي تشكل فيها السكريات او الكربوهيدرات الجزء الاساسي او الرئيسي لحاصلها الاقتصادي مثل البنجر السكري او قصب السكر ... الخ .

(د) اعراض نقص البوتاسيوم :

إن النباتات التي تأخذ حاجتها من البوتاسيوم تكون قوية ويلاحظ زيادة عدد ازهارها وعلى هذا الاساس فإن اعراض نقص البوتاسيوم يمكن تلخيصها فيما يلي :

1) ضعف المجموع الجذري للنبات وبالتالي ضعف عام للنبات .
2) قلة عدد الازهار .
3) تتلون الاوراق بلون بني داكن مع احتراق حواف الاوراق وفي الحالات المتقدمة قد يحدث احتراق لجميع الورقة وغالبا ما تكون على شكل رقم ٨ . وعموما فإن احتراق قمة وحواف الاوراق وذبولها وتجعدها هي الصفة المميزة لنقص البوتاسيوم على معظم النباتات .

النجيليات

تكون السنابل بيضاء اللون مع التفاف نهاية الورقة وانعقافها كالخطاف وتكون النباتات معرضة بشدة للرقاد .

اشجار الفاكهة

بالاضافة الى الاعراض النموذجية السابقة فإن الثمار تكون صغيرة الحجم ولونها غير طبيعي والثمرة متصلبة وزيادة نسبة الحموضة مع انخفاض نسبة السكر وانخفاض فيتامين C .

فمثلا لوحظ في حالة المشمش قلة عدد الازهار وبالتالي انخفاض عدد الثمار علاوة على صغر حجمها . وعموما الثمار المخزونة او اثناء نقلها تكون عرضة للتلف بسبب تعرضها للتعفن مقارنة بالثمار التي كانت اشجارها مغذاة بصورة جيدة بالبوتاسيوم كما انها تكون طرية مثل الطماطة والخيار والخوخ .

العنب

يلاحظ صغر حجم العنقود مع جفاف حبات العنقود بحيث انها تشبه الزبيب والذي يعود الى سحب الاوراق للماء من حبات العنقود في حالة وجود نقص للماء في النبات .

الحمضيات

تكون قشرة الثمرة او اغلاقها رقيقا وممزقا مع صغر حجمها .

البطاطا

انحناء حواف الاوراق حيث تكون ملعقية الشكل مع تنخر حوافها ويميل لون النبات الى اللون البرونزي . كما تظهر ظاهرة الاسوداد (Blackening) على الدرنات حيث تكون مسودة عند طهيها أو سوداء مزرقة بعد قطعها وتركها لفترة زمنية معينة .

الذرة الصفراء

يحدث تنخر على قمة الورقة وامتداد حوافها وتظهر الاعراض بشكل رقم ٨ .

الجـت

تظهر سلسلة من البقع البيضاء بالقرب من حواف الاوراق القديمة وتكون حواف الاوراق مصفرة ومجعدة ومنحنية للاسفل .

إن زيادة البوتاسيوم قد تؤدي الى ظهور اعراض نقص الكالسيوم كما هو الحال في ظهور مرض النقرة المرة (Bitter Pit) في التفاح والذي يتميز بظهور بقع بنية او قهوائية قد تمتد الى داخل لحم الثمرة .

كما أن زيادته قد تسبب تعفن الطرف الزهري (Blossom end rot) وخاصة في الطماطة والفلفل والباذنجان وهناك دراسات لعلاقة نقص الكالسيوم بتعفن الطرف الزهري للرقي والبطيخ والذي قد يتسبب نتيجة الافراط في اضافة السماد البوتاسي .

أما نقص البوتاسيوم في الطماطة فتكون نهاية الثمرة خضراء صلبة ذات مذاق غير مستحب عادة (Greenback) .

(هـ) علاج اعراض نقص البوتاسيوم

تضاف الاسمدة البوتاسية اما للتربة او رشا على النباتات حيث يستخدم سماد نترات البوتاسيوم رشا على اشجار الفاكهة ومحاصيل البستنة الأخرى بصورة رئيسية . ويجب الا يزيد محلول الرش عن تركيز 2-5% خوفاً من حدوث سمية وحروق على الاوراق .

4.1.7 ـ الكبريت (S) Sulphur or Sulfur

(أ) فكرة عامة :

يوجد الكبريت في التربة على شكل عضوي وكذلك على شكل غير عضوي اي معدني وتقدر كمية الكبريت المعدني بحدود 0.11% كمكون في القشرة الارضية (Lithosphere) وتشكل الصورة العضوية حوالي 50 ٪ من الكبريت الكلي كما هو الحال في ترب البدزول (Podzol) وقد تصل الصورة العضوية الى مايقارب من 75 ٪ من الكبريت الكلي في ترب الشيرنوزيم السوداء (Chernozem) الخصبة . ويعتبر الكبريت العضوي هو المخزن الرئيسي لكبريت التربة (Reisenaur et al., 1973) (Scott and Anderson, 1976) ، هذا ويمكن تقسيم الكبريت العضوي الى قسمين :

أ ـ الكبريت المرتبط بالكربون (Carbon bonded sulphur)

ويشمل الكبريت العائد للاحماض الامينية والذي تبلغ نسبته حوالي 50 ٪ من كمية الكبريت العضوي الكلية .

ب ـ الكبريت غير المرتبط بالكربون (Non-Carbon bonded sulphur)

ويضم (Choline sulphates), (Phenolic sulphates) والكبريت الداخل في الدهون مثل المركبات الطيارة كزيت الخردل المتواجد بكثرة في العائلة الصليبية مثل اللهانة والقرنابيط والكلم وكذلك في العائلة الزنبقية كالثوم والبصل والكرات وايضا في الفجل والذي يعود اليه الطعم الحريف اللاذع والذي يسبب التدمع (Lachrymatory) . كما ان نباتات العائلة البقولية كالفول والحمص والعدس تعتبر غنية بالكبريت وهذا طبيعي لدخول الكبريت في تكوين البروتينات والمعروف ان النباتات البقولية غنية بالبروتينات .

اما الكبريت المعدني فيوجد في التربة بصورة أساسية على شكل الكبريتات مثل كبريتات الكالسيوم غير المائية $CaSO_4$ (Anhydrate) . او على صورة الجبس $CaSO_4.2H_2O$ (Gypsum) ، كما انه قد يوجد على هيئة كبريتات المغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم وخاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة .

وتحت الظروف الرطبة فالكبريتات توجد اما في محلول التربة او متبادلة على سطوح غرويات التربة . ويزداد تبادل الكبريتات بزيادة تركيز ايونات الهيدروجين اي بانخفاض درجة تفاعل التربة الـ (pH) ، كما ان معادن الطين من نوع ١ : ١

مثل الكاؤولينيت (Caolinite) تكون قدرتها على امدصاص (تبادل) الكبريتات أكثر من معادن الطين 1:2 مثل المونتموريللونيت (Montmorillonite).

اما تحت الظروف الغدقة اللاهوائية فيوجد الكبريت المعدني على شكل مختزل مثل FeS او (FeS_2) اي البيرايت (Pyrites) او كبريتيد الهيدروجين (H_2S).

وفي المناطق المعتدلة يكون المحتوى الكلي من الكبريت من 0.005 الى %0.04.

إن محتوى كبريت التربة يتوقف على محتوى التربة من الطين والمادة العضوية وكذلك على pH واحياء التربة والظروف المناخية. حيث تحت الظروف الرطبة قد تغسل كميات كبيرة من الكبريتات في حين في المناطق الجافة وشبه الجافة كما سبق ذكره تتجمع الاملاح المحتوية على الكبريتات في طبقة التربة السطحية كما هو الحال عليه في وسط وجنوب العراق.

إن الكبريت العضوي كما في حالة النتروجين والفسفور العضوي يكون غير جاهز لتغذية النبات ولذلك فلكي يصبح جاهزا للنبات يجب ان تحدث له اولا عملية معدنة (Mineralization) وهذا يتم بواسطة بكتيريا الكبريت حيث يتكون H_2S والذي بدوره يتأكسد الى SO_4^{2-} تحت الظروف الهوائية. اما في الوسط غير الهوائي فان H_2S يتأكسد الى S بواسطة بكتيريا الكبريت من نوع (Beggiotoa,) Thiothrix). إن ~~تخص~~ البكتريا تستطيع ايضا أن تؤكسد S الى H_2SO_4 تحت الظروف الهوائية. إن S يتأكسد أيضا بواسطة البكتريا من جنس (Thiobacillus) كما يتضح ذلك من المعادلات الآتية : –

$$2H_2S + O_2 \longrightarrow 2H_2O + 2S + 122 \text{ Kcal}$$
$$2S + 3O_2 + 2H_2O \longrightarrow 2H_2SO_4 + 282 \text{ Kcal}$$

$$\text{net}: 2H_2S + 4O_2 \longrightarrow 2H_2SO_4 + 404 \text{ Kcal}$$

ويتضح من المعادلات تكون حامض الكبريتيك نتيجة لذلك وهذا يؤدي الى زيادة حموضة التربة. ومثل هذا التفاعل يكون على درجة كبيرة من الأهمية خاصة بالنسبة للترب العراقية او التي يميل تفاعلها الى القلوية الخفيفة، إن تعديل تفاعل التربة يعني زيادة جاهزية التربة من العناصر الغذائية وخاصة العناصر الغذائية الصغرى بالاضافة الى زيادة جاهزية فسفور التربة وزيادة تحركه في التربة.

أما تحت الظروف الغدقة اللاهوائية مثل حقول الرز فتتأكسد المادة العضوية الى H_2S وهذا يمكن ان يتأكسد أكسدة غير هوائية الى S بواسطة بكتيريا الكبريت الخضراء والارجوانية والتي يمكنها أن تقوم بعملية التركيب الضوئي حيث تستغل الهيدروجين الموجود في الـ H_2S بدلا من الماء . وهنا عندما تعاق هذه العملية من التحول يحدث تجمع للـ H_2S وقد يكون ساما للنبات .

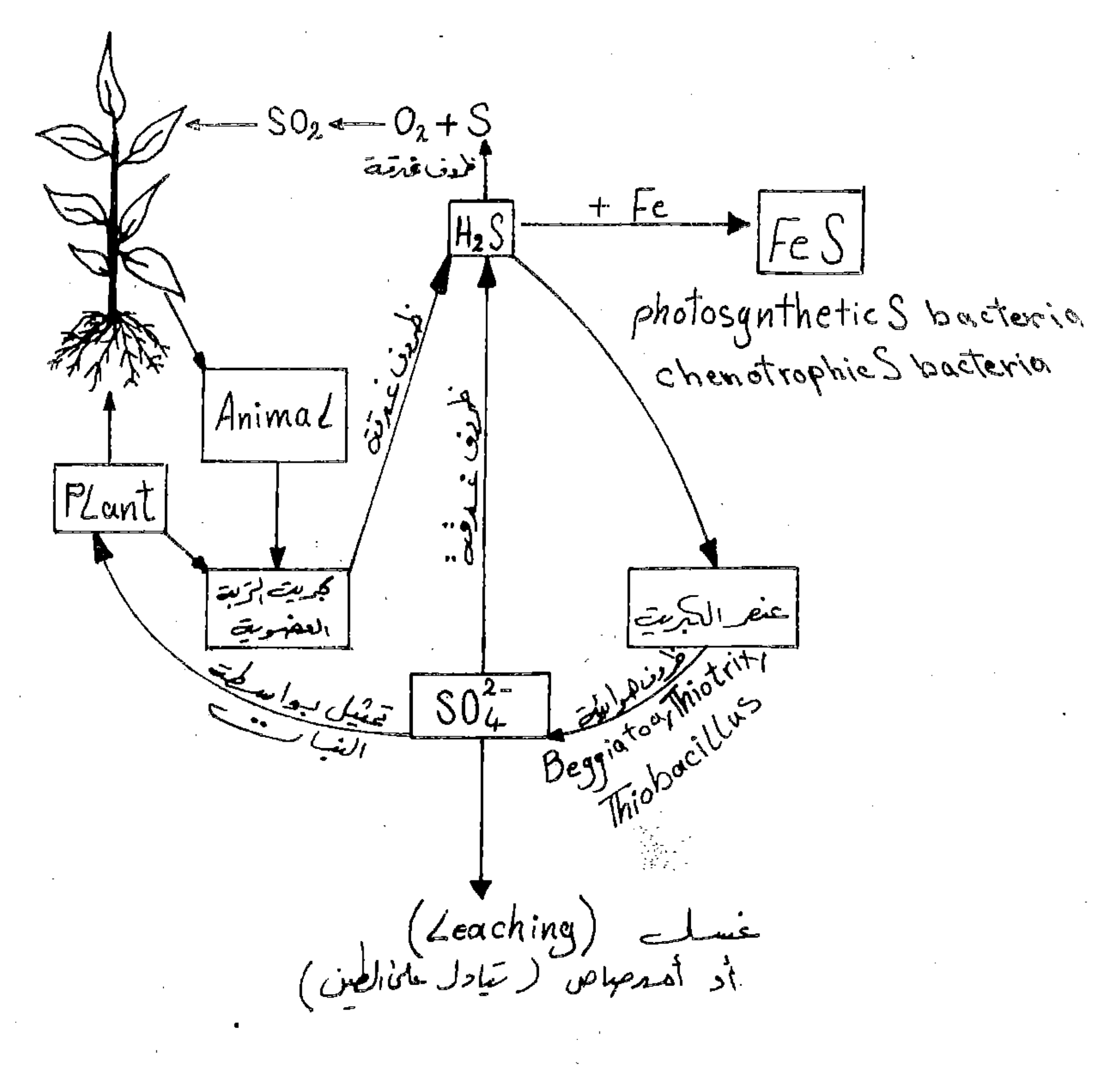
ويمكن ان يخفض من حدته أي يقلل من التأثير السمي للـ H_2S وذلك باضافة املاح الحديدوز والتي تكون FeS الذائب كما أشار الى ذلك (Cönell and 1969, Patrick) أن قسما من H_2S قد يتحرر الى كبريت ويتطاير الى الجو وهذا يمثل جزء من كبريت التربة وهذا الجزء يمكن ان يتأكسد بعد ذلك مع اوكسجين الهواء الجوي ويتحول الى غاز SO_2 والذي ينزل للتربة مع ماء المطر او قد يؤخذ من النباتات مباشرة عن طريق اجزائها الهوائية . وهناك دراسات بأن نبات القطن استطاع ان يغطي حوالي 30% من احتياجاته من الكبريت عن طريق امتصاصه لغاز SO_2 من الهواء الجوي . ويقدر تركيز SO_2 في الهواء الجوي من 0.1 الى 0.2 ملغم/ م^3 والتركيز الحرج منه في الهواء الجوي والذي قد يسبب سمية للنباتات هو من 0.5 الى 0.7 ملغم SO_2/ م^3 .

إن التأثير السمي للكبريت يتوقف بطبيعة الحال على نوع النبات . اما القسم الآخر من H_2S فيتأكسد هوائيا الى كبريتات SO_4^{2-} وهذه اما ان تمتص من قبل النباتات او تمثل في اجسام احياء التربة المجهرية او تمدص (تتبادل) على سطوح غرويات التربة من (الطين والدبال) او قد تغسل بعيدا عن منطقة جذور النبات وتحت الظروف الغدقة اللاهوائية كما هو الحال في حقول الرز فقد تستغل البكتيريا الكبريت الموجود في الـ FeS والذي يتأكسد بيولوجيا وكيمياويا كالآتي : ـ

$$FeS + H_2O + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow Fe(OH)_2 + S + Energy$$

إن الكبريتات الممثلة من قبل النباتات واحياء التربة تصبح جزءا من كبريت دبال التربة ولكي تستفيد منه النباتات يجب ان يحدث له عملية تعدين من جديد وهكذا نلاحظ ان هناك دورة للكبريت كما في حالة النتروجين .

والشكل (9-7) يوضح دورة الكبريت في الطبيعة .



شكل (7-9) دورة الكبريت في الطبيعة
عن : (Mengel and Kirbky, 1982) .

إن مقدارماينزل من الكبريت مع ماء المطر يخضع لتذبذب كبير حيث يتوقف على المناطق الصناعية وكمية الامطار واختلافها من موسم الى آخر ويقدر (Eriksson, 1952) ذلك بحوالي 1-65 كغم S / للدونم . وتحت الظروف الأوربية الصناعية يقدر ماينزل مع ماء المطر بحوالي 10-25 كغم S / دونم . كما تقدر كمية الكبريت التي تغسل من التربة بحدود 5-25 كغم S / للدونم .

(ب) وظائف الكبريت

1) يدخل الكبريت في تكوين البروتين حيث أنه يدخل في تكوين الاحماض الامينية التالية :

لجزيئة اخرى من الكلوتاثيون . وهذا يعني أن جزيئة واحدة من الكلوتاثيون غير مؤهلة للدخول في عمليات الاكسدة والاختزال بل يجب أن يشترك جزيئان من الكلوتاثيون للتمكن من القيام بهذه الوظيفة المهمة . وبما أن الكلوتاثيون ذو قابلية عالية للذوبان في الماء فإن الكلوتاثيون يلعب دورا أكثر اهمية في التفاعلات الايضية من النظام التأكسدي الاختزالي العائد للنظام Cystine / Cysteine .

Glutathione

Glutamyl → | Cysteinyl | Glycine

reduced form

$\rightleftharpoons$ 2H

oxidized form

← S – S – bridge

Glutathione الكلوتاثيون

3) يدخل الكبريت في تكوين الـ Lipoic acid وكذلك في تكوين CoASH وفيتاميني البيوتين والثيامين (Biotin, Thiamine) وهذه المركبات المحتوية على الكبريت تعتبر على درجة كبيرة من الاهمية لما تقوم به من أدوار هامة في التفاعلات الايضية التي تحدث في النبات فمثلا يشترك كل من الـ Lipoic acid والـ CoASH والمركب المشتق من الثيامين والذي يسمى بالـ Thiamine pyrophosphate (TPP) وبمساعدة مرافق الانزيم NAD في عملية فصل (أي تحرر) ثاني أوكسيد الكربون من الاحماض الكيتونية في دورة كريبس (Krebs Cycle) او كما في حالة تحول حامض البايروفيك (Pyruvic acid) الى AcetylCoA (CH_3-C-sCoA) والتفاعل الاخير يعتبر نقطة البداية في دورة كريبس نفسها عندما تقوم بتحويل حامض الـ Oxaloacetic acid الى حامض الستريك (Citric acid) . ومن هنا يتبين استحالة قيام النبات بهدم الكربوهيدرات والحصول منها على الطاقة اللازمة له في تفاعلاته الحيوية في حالة وجود نقص أو غياب الكبريت . كما يلعب البيوتين دورا مهما حيث يقوم بتثبيت CO_2 على الـ Acetyl CoA بمساعدة الـ ATP وأنزيم الـ Carboxylase الذي يدخل في تكوينه المنغنيز لتكوين الـ Malonyl CoA والذي يعتبر نقطة البداية في تكوين الاحماض الدهنية . وفيما يلي التركيب الكيمياوي للمركبات السابقة الذكر مع توضيح اهم التفاعلات التي تقوم بها .

Thiamine (Vitamin B_1)

Biotin

ومن الثيامين يشتق مساعد الانزيم TPP وذلك باستبدال مجموعة الـ OH بمجموعة الـ Pyrophosphate كالآتي :

$$CH_3$$

$$N \quad -CH_2-{}^{+}N \quad -CH_2-CH_2-O-\overset{O}{\overset{\|}{P}}-O-\overset{O}{\overset{\|}{P}}-OH$$

$$CH_3 \quad N \quad NH_2 \quad HC \quad S \qquad \quad OH \qquad OH$$

Thiamine Pyrophosphate

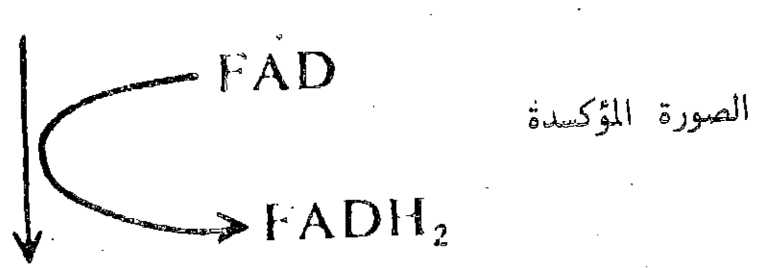
ان ذرة الهيدروجين المؤشرة هي النشطة والفعالة والتي عن طريقها تم دخول او اشتراك الـ (TPP) في عملية فصل جزيء CO_2 أي (Decarboxylation) من الاحماض الكيتونية في دورة كريبس او من حامض البايروفيك .

الصورة المختزلة

Lipoic acid

$$\begin{array}{l} H\,S-CH_2 \\ \qquad \backslash \\ \qquad\; CH_2 \\ \qquad / \\ H\,S-CH-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-COOH \end{array}$$

reduced form



الصورة المؤكسدة

$$\begin{array}{l} S-CH_2 \\ |\qquad \backslash \\ |\qquad\; CH_2 \\ |\qquad / \\ S-CH-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-COOH \end{array}$$

oxidized form

أما الـ Lipoic acid فيعمل أيضا كمساعد للانزيم كما في حالة (TPP) والـ (CoA SH) والتي تشترك جميعها في عملية فصل غاز CO_2 من الاحماض الكيتونية في دورة كريبس .

$HS-CH_2-CH_2-NH-CO-CH_2-CH_2-NH-CO-CH(OH)-C(CH_3)_2-CH_2-O-P\sim O\sim P-O-CH_2$ (ribose – adenine)

Pantothenic acid

AMP

Coenzyme A
(Co A—SH)

Pyrophosphate

إن الجزء الفعال في مساعد الانزيم CoASH هو مجموعة الـ SH ويمكن توضيح ما شرح عن دور المساعدات الانزيمية السالفة الذكر بالمعادلات الآتية :

1-

$$R-CO-COOH + \text{TPP} \longrightarrow CO_2 + R-CH(OH)-\text{TPP}$$

(TPP)

ويكتفى بكتابة او رسم الجزء الفعال من مساعد الانزيم (TPP) لسهولة توضيح المعادلات . ويكون نتيجة تفاعل الحامض الكيتوني مع مساعد الانزيم TPP هو تحرر غاز CO_2 وتكون الدهيد منشط Activated aldehyde

2- R–C(H)(OH)–C (حلقة الثيازول: N⁺, C, S) + Lipoic Acid (S–S) ⟶ R–C(=O)~S–/HS– + TPP

Activated Aldehyde + Lipoic Acid

مركب غني بالطاقة

ويتفاعل الالدهيد المنشط مع مساعد الانزيم (Lipoic acid) مكونا مركبا غنيا بالطاقة وينفصل الـ TPP من التفاعل ثانية .

3- R–C(=O)~S–/HS– + CoASH ⟶ HS–/HS– + R–C(=O)~SCoA

مركب غني بالطاقة

حامض منشط
(activated acid)
(Acetyl CoA)

اما المركب الغني بالطاقة فيتفاعل مع الـ CoASH لتكوين حامض منشط وتنفصل الصورة المختزلة لمساعد الانزيم Lipoic acid

4-

$$\text{HS-}\underset{|}{}\text{-HS} \rangle + NAD \longrightarrow \text{S-}\underset{|}{}\text{-S} \rangle + NADH_2$$

ويقوم الـ NAD^+ بأكسدة الصورة المختزلة لـ Lipoic acid الى الصورة المؤكسدة لهذا المركب وتختزل هي بدورها الى الـ $NADH_2$ وهكذا يمكن ان تعاد الدورة من جديد وتكون نتيجة هذه الخطوات هي تحرر CO_2 من الاحماض العضوية الكيتونية ويطلق على عملية فصل CO_2 بهذه الطريقة الـ (Oxidative decarboxy lation)

$$H_3C-\overset{\overset{O}{||}}{C}\sim SCoA \xrightarrow[\text{Biotin, Carboxylase(Mn)}]{CO \quad ATP} \overset{\overset{COOH}{|}}{CH_2}-\overset{\overset{O}{||}}{C}\sim SCoA + ADP + Pi$$

Acetyl CoA Carboxylase (Mn) Malonyl CoA

ومن هنا يتبين دور البيوتين او بالاصح دور الكبريت في تكوين الاحماض الدهنية حيث ان نقطة البداية في تكوين الاحماض الدهنية هو الـ (Malonyl CoA) والمعادلة التالية توضح كيفية تحول حامض البايروفيك الى الـ Acetyl CoA

$$H_3C-\overset{\overset{O}{||}}{C}-COOH \xrightarrow[\downarrow CO_2 \qquad \downarrow NADH_2]{\text{Lipoic Acid} \quad TPP \quad NAD \quad CoASH} H_3C-\overset{\overset{O}{||}}{C}\sim SCoA$$

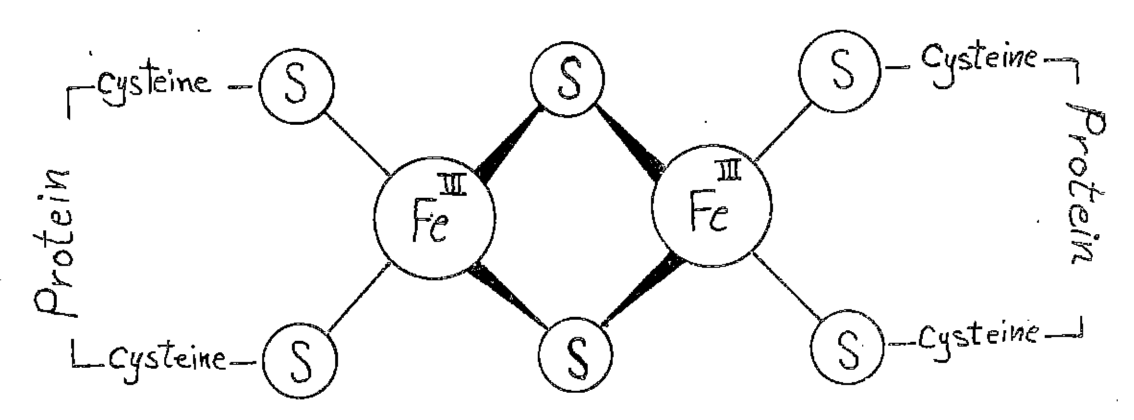
Pyruvic acid CO_2 $NADH_2$ Acetyl CoA

$$\underset{\text{OAA}}{HOOC-CH_2-C(=O)-COOH} + \underset{\text{Acetyl CoA}}{H_3C-C(=O)\sim SCoA} \xrightarrow{H_2O} \underset{\text{Citric Acid}}{CH_2(COOH)-C(OH)(COOH)-CH_2(COOH)}$$

ويعتبر التفاعل السابق هو نقطة البداية في دورة كريبس كما سبق ذكره .

4) يدخل الكبريت في تكوين الـ (Ferredoxin) وهو عامل مختزل قوي حيث وجد ان بامكانه ان يمثل الكترود الهيدروجين وتقدر قوته الاختزالية بما يعادل (432 mV−)وهو يشترك في عملية اختزال النترات كما انه يعتبر احد مكونات سلسلة النقل الالكتروني للنظام الضوئي رقم I في عملية التركيب الضوئي ، كما انه يستطيع اختزال الاوكسجين و N_2 وكذلك يمكن اختزال الـ NADP الى $NADPH_2$

والشكل (7–10) يوضح تركيب الـ Ferredoxin



شكل (7—10) تركيب الـ **Ferredoxin** الشكل المؤكسد عن : **(Hall et al, 1971)**

لقد اوضح (Boardman, 1975) بأن البلاستيدات الخضراء تحتوي على الـ (Ferredoxin) بشكل ذائب . وكما يتضح من الشكل فإن الـ (Ferredoxin) يحتوي على ذرتين من الحديد وكذلك على ذرتين من الكبريت المعدني في كل جزيئة . ومما تجدر ملاحظته أن الحديد في الصورة المؤكسدة يوجد على شكل حديد ثلاثي التكافؤ في كلا الذرتين بينما احد الذرتين في الصورة المختزلة تكون على هيئة

حديد ثنائي التكافؤ . ولهذا فإن الـ Ferredoxin الذائب يعمل كمستقبلا اي حاملا لالكترون واحد . كما يلاحظ من الشكل بأن الحديد مرتبط بأحداثيات مع ذرات الكبريت العائدة للـ Cysteine وكذلك الى الكبريت . ويبلغ الوزن الجزيئي للـ Ferredoxin 12000 كما اشار الى ذلك (Hall et al, 1971) .

لقد أوضح (Boardman, 1975) بأن البلاستيدات الخضراء تحتوي على الـ (Ferredoxin) بشكل ذائب . وكما يتضح من الشكل فإن الـ (Ferredoxin) يحتوي على ذرتين من الحديد وكذلك على ذرتين من الكبريت المعدني في كل جزيئة . ومما تجدر ملاحظته ان الحديد في الصورة المؤكسدة يوجد على شكل حديد ثلاثي التكافؤ في كلا الذرتين بينما احد الذرتين في الصورة المختزلة تكون على هيئة حديد ثنائي التكافؤ . ولهذا فإن الـ Ferredoxin الذائب يعمل كمستقبلا اي حاملا لالكترون واحد . كما يلاحظ من الشكل بأن الحديد مرتبط باحداثيات مع ذرات الكبريت العائدة للـ Cysteine وكذلك الى الكبريت . ويبلغ الوزن الجزيئي للـ Ferredoxin 12000 كما اشار الى ذلك (Hall el al, 1971) .

5) ان تكوين رابطة (S — S bond) في الببتيدات المتعددة والبروتينات تعتبر وظيفة مهمة وضرورية للكبريت في الكيمياء الحيوية وفسلجة النبات فهي تعمل على تثبيت بناء البروتين .

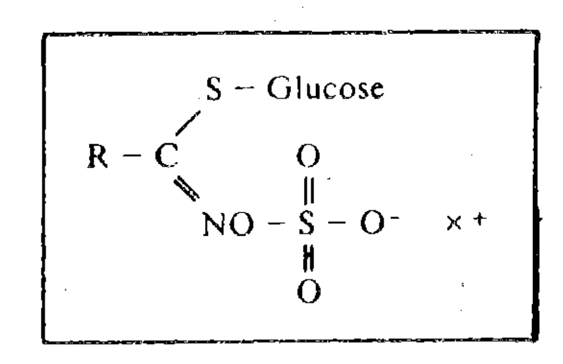
R - S - S - R

6) بعض انواع النباتات تحتوي على الكبريت بكميات كبيرة كما في نباتات العائلة الصليبية مثل اللهانة والقرنابيط واللفت (الشلغم) او نباتات مثل البصل المسؤول عن عامل التدمع (Lachrymatory) او رائحة الثوم او الطعم الحريّف او اللاذع مثل الفجل والكراث .

كما ان النباتات التابعة للعائلة البقولية تعتبر ذات محتوى عال نسبيا من الكبريت مقارنة بالنباتات النجيلية .

ان زيت الخردل والذي يوجد بصورة رئيسية في نباتات العائلة الصليبية له اهمية خاصة وطبقا لما اشار اليه (Fowden, 1967) بان الاحماض الامينية مثل Glutamic acid و Aspartic acid و Alanine و Serine هي الاساس الذي يتكون منه زيت الخردل .

وكما موضح في التركيب العام لزيت الخردل (Mustard Oil Glucosides) يظهر بان الكبريت يتواجد بشكلين مختلفين . حيث يوجد على شكل كبريتات وايضا على شكل ذرات كبريت ترتبط مع Glucose .



ان المحتوى الاعتيادي للنباتات من الكبريت هو من 0.1-0.5% في المادة الجافة . غير ان النباتات التي سبق التحدث عنها قد تحتوي على اكثر من ١ ٪ في المادة الجافة دون ان يمثل ذلك سمية لها .

(جـ) اعراض نقص الكبريت

نظرا لدخول الكبريت في تكوين البروتين كالنتروجين فان اعراض الكبريت تشبه الى حد ما اعراض نقص النتروجين . بيد ان نقص الكبريت يظهر اولا على الاوراق الحديثة للنبات لأنه عنصر بطيء الحركة . كما ان جميع نصل الورقة يكون مصفرا بما في ذلك عروق الورقة وتظل الاوراق غضة طرية ولاتجف ولاتتساقط في حين انها تجف وتتساقط في حالة نقص النتروجين . كذلك يحدث تقزم للنبات . ولوحظ وجود سمية في الحمضيات عندما وصل محتوى الكبريت في مادتها الجافة الى 0.5% في حين ان نبات الجت قد نما نموا طبيعيا عندما كان تركيز الكبريت فيه من 0.5-1.5% في مادته الجافة والتأثير السمي بدأ بالظهور عندما زاد تركيز الكبريت عن 2% .

ان النسبة الاعتيادية بين $\frac{N}{S}$ هي في المعتاد من 30 / 1 الى 40 / 1 ولكن في حالة نقص الكبريت في النباتات قد تتوسع النسبة كثيرا فقد تصل من 70 / 1 الى 80 / 1 ، وهذه يمكن استخدامها كدليل لمعرفة ما اذا كانت النباتات تعاني من نقص الكبريت ام لا . فالنباتات التي تعاني من نقص الكبريت يحدث فيها تجمع للنترات والاميدات .

ومما تجدر الاشارة اليه انه في معظم الاحيان تكون النباتات صلبة وقابلة للكسر وتبقى سيقان النباتات ضعيفة ويتأثر نمو الاجزاء الهوائية بدرجة اكثر من تأثر نمو الجذور . وفي نباتات العائلة الصليبية تكون الاوراق رفيعة وفي حالة النقص الشديد قد يحدث تحلل للبلاستيدات الخضراء . كما ان السمية بالـ SO_2 تسبب تمزق اغشية البلاستيدات الخضراء .

(د) علاج نقص الكبريت

لاتوجد اسمدة خاصة بالكبريت ولكن عادة تحتوي الاسمدة النتروجينية والبوتاسية مثل كبريتات الامونيوم او كبريتات البوتاسيوم او حتى السماد الفوسفاتي (السوبر فوسفات الثلاثي) والذي يحتوي على مايعادل ١ ٪ تقريبا من الجبس الذي يحتوي على الكبريت .

ان استخدام الكبريت الزراعي وخاصة في ترب المناطق التي تميل الى القاعدية مثل ترب وسط وجنوب العراق يعتبر على درجة كبيرة من الاهمية حيث يتحول الكبريت الزراعي (المعدني) الى حامض الكبريتيك بفعل بكتيريا الكبريت ويعمل على معادلة تفاعل التربة وهذا ينعكس بالايجاب على تحسين تغذية النبات ليس فقط لزيادة جاهزية فسفور التربة ولكن أيضا بالنسبة للعناصر الغذائية الصغرى وبقية العناصر الغذائية الاخرى حيث ان جاهزية العناصر الغذائية تزداد بصفة عامة حول نقطة التعادل .

5.1.7 ـ الكالسيوم Calcium (Ca)

(أ) فكرة عامة :

يبلغ معدل محتوى القشرة الارضية من الكالسيوم حوالي 3.64% بالوزن وبالتالي فهو يأتي بالمرتبة الخامسة بعد عناصر O ، Si ، Al ، Fe والتي تشكل حوالي 87% بالوزن من قشرة الارض وحتى عمق ١٦ كم من سطح التربة كما يتضح ذلك من الجدول (7-4) اللاحق .

يوجد الكالسيوم في التربة في المعادن الاولية مثل الفلسبار الكلسي (الانورثيت) والاوليفين والبيروكسين والامفيبول والتي منها الهورنبلند . غير ان الهورنبلند يحتوي كمية عالية من الـ Al و Fe وكمية اقل من الـ Ca و Mg . كذلك يوجد في صخور الفوسفات (الاباتيت Apatite) والذي يعتبر من اكثر صخور الفوسفات انتشارا . كما يوجد الكالسيوم في معدن الكالسيت (Calcite) وهو عبارة عن كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ وكذلك في الدولوميت (Dolomite) وهو خليط من كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم ($CaCO_3.MgCO_3$) .

عموما تعتبر ترب المناطق الجافة وشبه الجافة كما هو الحال عندنا ذات محتوى عال من الكالسيوم وهذا قد يسبب مشكلة كما في حالة الترب الجيرية ذات المحتوى العالي من كربونات الكالسيوم حيث يسبب ارتفاع في درجة تفاعل التربة (pH) والذي ينعكس سلبيا على جاهزية معظم العناصر الغذائية وخاصة العناصر

جدول (7-4) معدل التركيب الكيمياوي لقشرة الارض والى عمق ١٦ كم كنسبة مئوية من الوزن والحجم عن : **(Epstein, 1972)** .

العنصر	الوزن %	الحجم %	العنصر	الوزن %	الحجم %
O	46.46	91.77	H	0.14	0.06
Si	27.61	0.80	P	0.12	–
Al	8.07	0.76	C	0.09	0.01
Fe	5.06	0.68	Mn	0.09	–
Ca	3.64	1.48	S	0.06	–
Na	2.75	1.60	Cl	0.05	0.04
K	2.58	2.14	B	0.04	–
Mg	2.07	0.56	F	0.03	–
Ti	0.62	--	العناصر الاخرى	0.52	0.10

الغذائية الصغرى باستثناء عنصر المولبدنم والذي تزداد جاهزيته تحت الظروف القاعدية . أما ترب المناطق الحامضية او ترب المناطق الاستوائية الرطبة والتي يزداد فيها تكون ايونات الهيدروجين وغاز ثاني اوكسيد الكربون فهذه العوامل تعمل على تقليل محتوى الكالسيوم في تربها حيث تحل أيونات الهيدروجين محل الكالسيوم المتبادل على سطوح غرويات التربة ويتحرر الـ Ca^{2+} الى محلول التربة وهذا يغسل الى الاعماق بعيدا عن متناول جذور النبات وبالطبع تزداد شدة الغسل بزيادة كمية الامطار المتساقطة ، وقد تصل كمية الكالسيوم التي تغسل من التربة تحت الظروف المناخية المعتدلة من 200 الى 300 كغم كالسيوم بالهكتار .

وبالرغم من أن ذوبان كربونات الكالسيوم قليل جدا (حيث يتراوح من 10-15 ملغم $CaCO_3$ / لتر اي حوالي 0.3 مليمول) الا أن زيادة تكون غاز CO_2 والذي يزداد بزيادة اضافة المادة العضوية يسرع من امكانية تحول $CaCO_3$ الى $Ca(HCO_3)_2$ السهلة الذوبان .

كما وجد إن انخفاض درجة الحرارة يزيد من عملية ذوبان وتجوية $CaCO_3$ بوجود غاز CO_2 ولذلك فإن المناطق الاستوائية الرطبة الباردة تتعرض الى عمليات فقد كبيرة لهذا العنصر كما يتضح من المعادلة التالية :

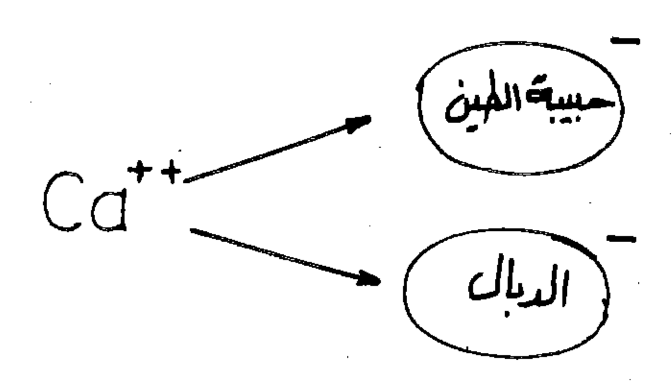
$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \xrightarrow{\hspace{2cm}} \underset{\text{Leaching}}{Ca(HCO_3)_2}$$

ومما تجدر الاشارة اليه ان عملية النترتة والعوامل المؤثرة عليها تلعب دورا اكثر اهمية من عملية تكون البيكربونات والتي تؤدي الى غسل الكالسيوم من التربة (Larsen and Widdowson ,1968) حيث أن أيونات الهيدروجين المتكونة تكون قدرتها أعلى على مهاجمة مركبات الكالسيوم غير الذائبة أي تجويتها وتحرير الكالسيوم منها والتي قد تتعرض لعملية الغسل بعد ذلك :

$$2\ NH_4 + 4\ O_2 \xrightarrow{\text{النترتة}} 2NO_3^- + 4H^+ + 2H_2O$$

وطبقا لما اشار اليه (Russell ,1973) انه لكل 100 كغم من سماد كبريتات الامونيوم المضافة الى التربة فإن حوالي 45 كغم كالسيوم قد تزال مع مياه البزل نتيجة لعملية النترتة (النترجة) والموضحة في المعادلة السابقة .

ومما تجدر ملاحظته أن وجود الكالسيوم في التربة يعتبر دليلا أو أحد صفات التربة الجيدة حيث يعمل على تثبيت بناء التربة وتكوين البناء الحبيبي (Aggregate Structure)والذي يعتبر أفضل بناء للتربة وذلك من خلال ربط الكالسيوم لغرويات التربة (الطين والدبال) حيث ترتبط احد شحناته مع حبيبة الطين والشحنة الاخرى مع الشحنة السالبة الخاصة بالمادة العضوية والتي يمكن التعبير عنها كالآتي :



هذا وقد بين (1959, Broyer and Stout) ان الترب التي يسود فيها تواجد معادن الطين الثانوية من نوع 1:2 يجب أن يكون 80% من سعة التبادل الكاتيوني (CEC) للتربة مشبعة بالكالسيوم أما الترب التي تسود فيها معادن الطين 1:1 مثل الكأؤولينت فإن مايعادل 20% من سعة التبادل الكاتيوني يجب أن تكون مشبعة بالكالسيوم .

هذا ويقدر الباحثون مدى مساهمة عنصري الـ Mg , K في سعة التبادل الكاتيوني بما يعادل Mg(%12-6) و K(%5-3) . وطبقا لما تقدم فإن نقص الكالسيوم في التربة يؤدي الى تكوين بناء مفرق غير ملائم لنمو النبات حيث تسوء العلاقات المائية والهوائية في هذه الحالة . كما ان نقص الكالسيوم يؤدي الى انخفاض (pH) التربة وهذا يؤثر بدوره على جاهزية بعض العناصر الغذائية ، فعلاوة على ظهور نقص ببعض العناصر الغذائية مثل الفسفور والمولبدنم تحت الظروف الحامضية فإنه قد تزداد تراكيز بعض العناصر في محلول التربة بحيث تكون ذات تأثير سام على النبات مثل Mn, Al . كما أن زيادة وجود $CaCO_3$ في التربة قد تؤدي الى مايسمى بالشحوب الكلسي أو الشحوب اليخضوري الكلسي (Limestone Chlorosis) والذي يتسبب عن حدوث شحوب أي اصفرار على اوراق النباتات- والذي يرجع بالدرجة الاساس الى نقص عنصر الحديد . كما يجب أن يلاحظ أن السمية بالالومنيوم تكون مصحوبة أيضا بنقص عنصر الفسفور تحت الظروف الحامضية نتيجة لتكوين المركب المعقد فوسفات الالومنيوم .

(ب) وظائف الكالسيوم

للكالسيوم وظائف عديدة بداخل النبات وأهمها مايأتي :

1 – يبدو أن للكالسيوم وظائف بنائية حيث يدخل في تكوين الصفيحة الوسطى (middle Lamella) للجدار الاولي للخلايا نتيجة لتكوين بكتات الكالسيوم . إن دخول الكالسيوم في تكوين الصفيحة الوسطى يعمل على تقوية الجدار الخلوي . كما ان الكالسيوم يميل الى تكوين مركبات مخلبية مع بروتوبلازم الخلايا والذي يعمل على زيادة مرونتها وبناء على ذلك تكون الخلايا قوية من ناحية ومرنة من ناحية اخرى مما يجعل النباتات أقل عرضة للانكسار بالرياح وهذا قد يكون على درجة كبيرة من الاهمية كما في حالة النجيليات حيث يقلل من نسبة او خطر اضطجاعها خاصة أثناء هبوب الرياح أو اذا ماتصادف هبوب الرياح مع الري أو هطول الامطار .

2 – يساهم مع أيونات العناصر الغذائية الاخرى في تنظيم الجهد الازموزي لخلايا النبات وخاصة عناصر (B, Mn, Cl, Na, K) .

3 ـ يشترك في عملية نقل الكربوهيدرات من أماكن تكوينها في الاوراق الى اماكن تجمعها كما في حالة درنات البطاطا او جذور البنجر السكري .

4 ـ يشترك في ترسيب حامض الاكساليك على شكل أكسالات الكالسيوم وبالتالي التخلص من سميته في النبات .

5 ـ يشترك الكالسيوم مع المغنيسيوم في تكوين الفايتين (Phytin) وهو عبارة عن ملح الكالسيوم والمغنيسيوم لحامض الفايتيك (Phytic acid) والذي هو استر حامض الفسفوريك السداسي والمشتق من الايونوسيتول (Inositol) . ويعتبر هذا الملح المصدر للفسفور في البذور واثناء عملية الانبات .

6 ـ له دور في تنظيم الهرمونات النباتية مثل IAA .

7 ـ يرفع كفاءة النبات في تمثيل غاز CO_2 .

8 ـ وجوده في الوسط الخارجي (محلول التربة) يعمل على رفع كفاءة النبات في زيادة معدل عملية امتصاص البوتاسيوم حيث يعمل الكالسيوم كأي كاتيون ثنائي التكافؤ على تقليل نفاذية الاغشية وبالتالي يقلل من البوتاسيوم الخارج (K-efflux) وبهذه الكيفية يزداد معدل امتصاص البوتاسيوم حيث ان معدل امتصاص البوتاسيوم هو الفرق بين البوتاسيوم الممتص الداخل (K-influx) مطروحا منه البوتاسيوم الخارج K-efflux كما يلي : ـ

Net :K-absorption = (K-Influx)-(K-Efflux)

وقد لاحظ هذه الظاهرة العالم Viet الذي هو أحد تلاميذ العالم الشهير Hoagland المرتبط اسمه حاليا بمحاليل هوكلاند في زراعة النباتات في المحاليل المغذية وقد اطلق على هذه الظاهرة اسم (Viet's effect) .

9 ـ ضروري لعملية انقسام الخلايا المرستيمية ونمو حبوب اللقاح كما في حالة عنصر البورون ولذلك فإن نقص كل من الكالسيوم والبورون يؤدي الى موت القمة النامية للنبات .

10 ـ لقد وجد أن الكالسيوم ضروري للنباتات البقولية لكي تزداد قدرتها في تثبيت النتروجين الجوي وكذلك فإن النباتات تضعف قدرتها على الاستفادة من النترات الممتصة في حالة نقص الكالسيوم .

(جـ) أعراض نقص الكالسيوم :

يتذبذب محتوى الأوراق من الكالسيوم حيث يتراوح من 0.3 الى 1.6% في مادتها الجافة ، غير أن المحتوى 0.5%Ca في المادة الجافة يعتبر كافيا لحدوث نمو

طبيعي لمعظم النباتات . تعتبر الحمضيات من أكثر النباتات احتواء على الكالسيوم ، فالمحتوى 3 الى Ca%6 في مادتها الجافة يمثل محتوى طبيعي ولا يمثل سمية لها . كذلك تعتبر النباتات البقولية ذات محتوى عالي من الكالسيوم مقارنة بالنجيليات حيث تقدر احتياجاتها بخمسة أضعاف احتياجات النجيليات . كما أن الطماطة تتطلب الكالسيوم بنسبة عالية وتقدر تلك الاحتياجات من 10-15 مرة قدر الحنطة .

إن الكالسيوم عنصر بطيء الحركة بداخل النبات ولذلك تظهر أعراض نقصه على الاوراق الحديثة أولا ونقصه يسبب موت القمة النامية للنبات وكذلك يؤدي الى ضعف المجموع الجذري ويحدث تشوه للاوراق الحديثة حيث تصبح حوافها ملتفة وتتجه قمة الورقة الى الخلف وتصبح على هيئة خطاف وقد تتمزق حواف الورقة مع ظهور بقع منخورة (Necrosis) وفي النهاية تجف الاوراق وتلتف حول السيقان . وفي معظم الاحيان يكون شكل النبات كث او كثيف بسبب خروج عدد كبير من البراعم الحديثة لكي تعوض البراعم القديمة الميتة وهذه بدورها سرعان ماتموت وهكذا بأستمرار مما يجعل النبات كثيفا . وفي حالة الذرة الصفراء قد تلتصق قمة الاوراق ولا تخرج من غمدها فتظل ملتصقة مع الساق . وفي نبات التبغ تتشوه قمة الاوراق وتتجه للخلف بشكل خطاف وتكون الاوراق سميكة جدا . وكذلك التفاح تتكون النقرة المرة على الثمار (Bitter pit) وهي عبارة عن بقع بنية أو قهوائية توجد على الثمار من الخارج وقد تمتد الى داخل نسيج الثمار .

اما في الطماطة والباذنجان والفلفل والرقي والبطيخ فيحدث فيها تعفن الطرف الزهري Blossom end rot في حالة وجود نقص بالكالسيوم . ويعتبر المحتوى Ca%0.8 في المادة الجافة هو الحد الحرج او التركيز الحرج والا ظهر نقص الكالسيوم في الخضروات . إن نقص الكالسيوم يسبب احتراق قمة وحواف الاوراق والذي ربما يعود الى تأثيره على الـ Auxin والهرمونات النباتية والتي يعتقد في هده الحالة زيادة تكوين حامض الكلوروجينك (Chlorogenic acid) والذي يسبب حروقا لقمة وحواف الاوراق .

كما لوحظ في حالة نقص الكالسيوم حدوث اضرار واضحة لخلايا البرانكيما وانسجة اللحاء حيث يحدث فصل للخلايا عن بعضها البعض وتملأ الفسح البينية الموجودة بين الخلايا بالعصارة الخلوية وتؤكسد المركبات الفينولية الى كينون (Quinone) وهذا يرتبط مع الاحماض الامينية او البروتينات مكونا الميلانين (Melanin) والذي يضفي على المناطق المنخورة اللون البني .

إن موت الخلايا نتيجة لتأكسد المركبات الفينولية يؤدي الى تصلبها مما يؤدي الى انسداد القنوات الهوائية الامر الذي يمنع أو يعرقل انتقال أيونات العناصر الغذائية او انتقال نواتج عملية التركيب الضوئي الى الاعلى مما يسبب موتها وهذا يسبب موت القمة النامية .

كما ان نقص الكالسيوم يؤدي الى ضعف المجموعة الجذرية أو حتى الى موتها حيث تصبح بنية لزجة . ونقص الكالسيوم في نبات الكرفس يسبب له القلب الاسود (Black heart) . كما ان نقص الكالسيوم في التربة يؤدي الى عدم تكون درنات البطاطا او فستق الحقل حيث أن الكالسيوم ينتقل اليها من التربة مباشرة عن طريق الفراغ الحر الخاص بالدرنات (Apolast pathway) وليس عن طريق امتصاصه من قبل الجذور .

كما ان وجود الكالسيوم في التربة بكميات كافية يقلل من التأثير السام للعناصر النادرة الثقيلة مثل الرصاص والكادميوم والزئبق ... الخ .

د) اضافة الكالسيوم للترب الحامضية : يضاف الجير ($CaCO_3$) لمعادلة الـ pH كما يستخدم الجبس ($CaSO_4.2H_2O$) للتخلص من الكميات الزائدة من الصوديوم وتحسين بناء التربة في حالة الترب القلوية والملحية .

لاشك أن معادلة الـ pH للترب الحامضية أو القلوية من الامور المهمة لزيادة جاهزية العناصر الغذائية في مثل هذه الترب ، كما أن تزويد الترب بالكالسيوم الضروري للنبات من ناحية ومن ناحية اخرى هو تحسين بناء التربة وتكوين البناء الحبيبي (aggregate structure) كما ذكر والذي من شأنه تحسين العلاقات المائية والهوائية للترب . فهو يعمل على زيادة قدرة الترب الرملية الخفيفة على حفظ الماء وفي نفس الوقت يمكن تخليص الترب الطينية الثقيلة من كميات الماء الزائدة فيها والتي قد تنعكس بلاشك بالايجاب على جاهزية وامتصاص العناصر الغذائية فيها . فعلى سبيل المثال تخليص التربة الطينية من الماء الزائد فيها يعني تقليل ظروف الغدق وبالتالي تقليل عملية فقد النتروجين بواسطة عملية نزع النتروجين (Denitrification) وكذلك تقليل السمية بكبريتيد الهيدروجين (H_2S) الذي يتكون تحت الظروف الغدقة اللاهوائية (Anaerobic conditions) . وكذلك تقليل السمية بعنصر المنغنيز نتيجة لاختزاله والمعروف أن النبات يمتص المنغنيز الثنائي التكافؤ . إن تحسين تهوية التربة الطينية نتيجة لتخليص كميات الماء الزائدة منها تعني رفع كفاءة النبات لامتصاص عنصر الحديد حيث ان توفر الاوكسجين يعتبر من العوامل الاساسية لامتصاص هذا العنصر .

إن تعديل الـ pH للترب الحامضية يعني تقليل السمية بعنصري الـ Al ، Mn وزيادة جاهزية عنصري الفسفور والمولبدنم .

كما أن معادلة تفاعل التربة للترب القاعدية تعني ايضا زيادة جاهزية الفسفو والعناصر الغذائية الصغرى الاخرى مثل الـ Cu, Zn, B, Mn, Fe . وبصور عامة تبلغ معدلات الاضافة من المواد الجيرية بحدود 3 الى 4 طن من CaO او مر 4 الى 6 طن من $CaCO_3$ للهكتار الواحد خلال دورة زمنية من 3 الى 5 سنوات لمعادلة pH الترب الحامضية . اما بالنسبة للترب الملحية والقلوية فيضاف الجبس ($CaSO_4.2H_2O$) وهو ملح متعادل بحدود 15 الى 40 طن/ للهكتار حسب كمية الصوديوم المتواجدة ودرجة التملح (Ralkov، 1971) .

6.1.7 ـ المغنيسيوم Magnesium (Mg)

(أ) فكرة عامة

بوجه عام يمكن القول أن محتوى الترب من المغنيسيوم أقل من محتواها مر الكالسيوم . وتعتبر ترب البدزول الرملية (Podzol) وترب اللاتريت (Laterite فقيرة بالمغنيسيوم حيث لا يتجاوز محتواها أكثر من 0.05%Mg بينما قد يصل محتوى ترب الشيرنوزيم (Chernozem) السوداء أو الترب البنية ذات المحتوى الجيد من الطين الى 0.5%Mg . كما أن مساهمة المغنيسيوم في سعة التبادل الكاتيوني (Cation Exchange capacity) أقل من الكالسيوم ولكنها أكثر مر البوتاسيوم . فقد أشار (Bergmann ,1983) أن مساهمة كل من الـ Ca و Mg و K في سعة التبادل الكاتيوني هي على النحو التالي : ـ

الكالسيوم من 65-85% ملليمكافيء / 100 غم تربة
والمغنيسيوم من 6-12% ملليمكافيء / 100 غم تربة
والبوتاسيوم من 3-5% ملليمكافيء / 100 غم تربة

هذا ويبلغ محتوى القشرة الارضية من المغنيسيوم حوالي 2.07% بالوزر وتعتبر الصخور القاعدية مثل البازلت والجابرو والمعادن الاولية المتواجدة في هذ الصخور القاعدية مثل الاوليفين (Olivine) والتي منها معدن الفورستيريت ($Forsterite, Mg_2SiO_4$) والبيروكسين والتي منها معدني الاوجيت والانستاتيت ($Anstatite, Mg_2Si_2O_6$) والامفيبول والتي منها معدني الهورنبلند (Hornblende) وتريماليت (Tremalite) كما ان التلك Talc والميكا السودا (البيوتيت Biotite) ومعادن الطين الثانوية مثل الكلورايت (Chlorite والفيرميكوليت (Vermiculite) والايلليت (Illite) والمونتموريللونيت (Montmorillonite) هي من أهم المعادن التي تحتوي على المغنيسيوم . وحيث ا

المعادن المحتوية على المغنيسيوم والحديد والكالسيوم تكون سهلة التجوية لذا تعتبر المعادن السليكاتية ذات مصدر جيد لتغذية النباتات بهذه العناصر .

إن بعض الترب تحتوي على المغنيسيوم في صورة الماجنسيت (Magnesite, $MgCO_3$) او الدولوميت (Dolomite, $CaCO_3.MgCO_3$) وفي المناطق الجافة وشبه الجافة قد تحتوي الترب على كميات كبيرة من المغنيسيوم على شكل كبريتات المغنيسيوم ($MgSO_4$) . وقد يتواجد المغنيسيوم كما في حالة الكالسيوم بتركيز عال في محلول التربة حيث يتراوح من 2 الى 5 مليمول غالباً ، غير ان مستوياته يمكن ان تخضع لتأرجح كبير حيث وجدت مستويات قد تباينت من 0.2 الى 150 مليمول في محلول التربة . وقسم من المغنيسيوم قد يكون متحداً مع المادة العضوية بيد ان هذا الجزء يسير ولا يتجاوز 1% من المغنيسيوم الكلي الموجود في التربة وكما في حالة عنصر الكالسيوم فان كميات كبيرة من المغنيسيوم تغسل بسهولة من مقد التربة وتتراوح تلك الكميات من 2 الى 30 كغم Mg / هكتار/ سنة ، ويتوقف ذلك بطبيعة الحال على نوع التربة ونسجتها حيث تفقد كميات كبيرة منه في الترب الرملية الخشنة النسجة مقارنة بالترب الطينية الناعمة النسجة بعملية الغسل (Leaching) . كما تعتمد عملية الغسل على كمية المغنيسيوم المتواجدة في التربة وكذلك على كمية ما يمتص منه بواسطة النبات وعلى معدل التجوية وكمية الامطار الموسمية المتساقطة . (1976, Kirkby and Mengel) .

ويمتص المغنيسيوم كما في حالة الكالسيوم في الصورة الثنائية التكافؤ اي Mg^{2+} وهو يشبه كذلك الكالسيوم حيث ينتقل الى الاعلى مع مجرى النتح في الخشب وعلى عكس الكالسيوم غير المتحرك تقريباً في اللحاء فان المغنيسيوم يعتبر من العناصر المتوسطة الحركة ولذلك بعكس الكالسيوم تظهر اعراض نقصه اولاً على الاوراق القديمة من النبات ، وكما في حالة الكالسيوم فان محتوى الاوراق من المغنيسيوم يكون بصورة عامة اعلى من محتوى السيقان وهذا عكس ما هو عليه الحال بالنسبة لعنصر البوتاسيوم والذي يتواجد تقريباً بكميات تكاد تكون متقاربة في كل من الاوراق والسيقان كما أشار الى ذلك (1960, Scharrer and Mengel) .

(ب) وظائف المغنيسيوم بداخل النبات :

أولاً : هناك وظائف مشتركة يقوم بها كل من المغنيسيوم والكالسيوم وهي :

أ ـ كلاهما يشترك في عملية نقل الكربوهيدرات

ب ـ كلاهما يساهم في عملية تنظيم الجهد الازموزي في النبات .

جـ ـ كلاهما يعمل على تخليص النبات من السمية بحامض الاكساليك حيث تتكون بلورات اكسالات الكالسيوم واكسالات المغنيسيوم .
د ـ كلاهما يدخل في تكوين الفايتين Phytin .
هـ ـ كلاهما يشترك في عملية اختزال النترات بداخل النبات ويحفزان عملية تثبيت النتروجين الجوي بواسطة البقوليات .
و ـ كلاهما له دور في تحفيز تكوين الهرمونات النباتية .

ثانياً : وظائف اخرى يكون المغنيسيوم متخصصاً بها وهي :

أ ـ يدخل مع الـ N في تكوين جزيئة الكلوروفيل كما ان له دور مساعد في تكوين صبغات النبات مثل الكاروتين والزانثوفيل (Xanthophyll) .
ب ـ ضروري للحصول على الطاقة من الـ ATP حيث يقوم بربط بروتين الانزيم مع مجموعة الفوسفات العائدة لها .
جـ ـ ينشط عدداً من الانزيمات ومساعدات الانزيمات والتي تلعب دوراً مهماً في عملية هدم الكربوهيدرات سواء تحت الظروف اللاهوائية بواسطة عملية الـ (Glycolysis) والتي تنتهي بتكوين حامض البايروفيك (Pyruvic acid) $COOH-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_3$ او في دورة كريبس (Krebs Cycle) لعملية التنفس النهائية والتي تتم في المايتوكوندريا وهذه الانزيمات هي Pyruvic phosphokinase, Carboxylase, Enolase ومساعد الانزيم Acetyl CoA وغيرها .
د ـ يلعب دوراً مهماً في تثبيت بناء الرايبوسوم والذي يتم عليه تكوين البروتينات .
هـ ـ ضروري لما يسمى بمضخة الصوديوم او ما تعرف ايضاً بالـ (K-Na-ATPase) والتي تقوم بادخال البوتاسيوم وطرد الصوديوم من خلايا النبات الى الخارج .
و ـ له دور مهم في تحويل الفسفور المعدني الى فسفور عضوي .

(جـ) اعراض نقص المغنيسيوم :

يتراوح المحتوى الاعتيادي من المغنيسيوم بحدود 0.3 الى 0.6% في المادة الجافة . وتختلف الاحتياجات من المغنيسيوم حسب نوع النبات . وبصورة عامة فان احتياجات النباتات البقولية تقدر بضعف احتياجات النجيليات . كما ان النباتات الزيتية احتياجاتها عالية من المغنيسيوم ، كما يتضح ذلك مما يلي :

النجيليات (بذور) تحتوي من Mg%0.18-0.12 في المادة الجافة
الترمس (بذور) تحتوي على Mg %0.42 في المادة الجافة
الكتان (بذور) تحتوي على Mg %0.47 في المادة الجافة
الخشخاش (بذور) تحتوي على Mg %0.49 في المادة الجافة

هذا ويعتبر المحتوى Mg%0.12 في المادة الجافة لأوراق الشعير الحد الحرج (او التركيز الحرج) والا تسبب ذلك في ظهور اعراض نقص المغنيسيوم عليها . كما ان المحتوى Mg%0.7 في المادة الجافة لاوراق الشعير قد سبب سمية بالمغنيسيوم على هذا النبات . غير انه بصورة عامة اذا انخفض المحتوى عن Mg%0.2 فان ذلك يعتبر مؤشراً لظهور نقص بالمغنيسيوم على النباتات ، وهذا بالطبع يتوقف على نوع النبات .

إن نقص المغنيسيوم على النجيليات يظهر بشكل اشرطة مبقعة تشبه العقد اللؤلؤي . وفي معظم النباتات يسبب نقص المغنيسيوم حدوث اصفرار ثم تنخر فيما بين العروق الرئيسية للاوراق والتي تبدأ على قمة وحواف الاوراق ثم تتجه مع اشتداد اعراض النقص الى العرق الوسطي للورقة كما في حالة التبغ والكرفس وانواع البنجر . في حين قد يبدأ الاصفرار على طول العرق الوسطي ثم يتجه الى حواف الورقة كما في حالة الحمضيات واشجار الفاكهة والعنب والبقوليات والبطاطة والطماطة . وفي كلا الحالتين يكون الاصفرار والتنخر بشكل الاسفين فيما بين العروق الرئيسية للورقة . ومما تجدر الاشارة اليه ان عروق الورقة ومساحة صغيرة تحيط بها تظل خضراء . وتظهر الاعراض على الاوراق القديمة اولاً والتي تظهر ذبولاً كما في حالة نقص عنصر البوتاسيوم الا ان اعراض البوتاسيوم تظهر في وقت مبكر وتكون الاوراق اصغر مما هو عليه الحال عند تعرضها لنقص المغنيسيوم كما ان الاوراق تكون مجعدة ولكنها ناعمة الملمس في حين تكون مجعدة وخشنة الملمس في حالة نقص البوتاسيوم وهناك فرق جوهري آخر ومهم وهو بقاء الاوراق جافة ومعلقة على النبات لفترة طويلة في حالة نقص عنصر البوتاسيوم في حين ان الاوراق تتساقط في وقت مبكر قبل نضوجها في حالة نقص عنصر المغنيسيوم علاوة على ما ذكر سابقاً فان عنقود العنب قد يتمزق حامله علاوة على تمزق اعناق الاوراق .

وفي الطماطة يحدث نضج غير متجانس (Blotchy Ripening) وكما في حالة نقص البوتاسيوم تكون الثمار عرضة للتلف اثناء النقل او الخزن . كما قد تتساقط الثمار في وقت مبكر قبل نضجها .

ومن الجدير بالملاحظة كذلك ان نقص المغنيسيوم في الحاصيل العلفية والذي قد يتسبب من عدم التوازن الايوني لعناصر (Mg^{2+}, Ca^{2+}, K^{+}, Na^{+}) يسبب مرض كزاز الحشيش (Grass tetany) على حيوانات المزرعة .

ومما تجدر الاشارة اليه ايضاً ان علاج نقص المغنيسيوم عن طريق التربة لا يظهر أثره الفعال مباشرة كما في حالة نقص وعلاج عنصر النتروجين بل قد يحتاج ذلك الى اكثر من سنتين ، لذا ينصح بعلاج نقص المغنيسيوم رشاً على النباتات بأستخدام محاليل الاملاح الحاوية على المغنيسيوم مثل كبريتات او نترات او كلوريدات المغنيسيوم وبتراكيز لا تزيد عن 3%Mg .

2.7 العناصر الغذائية الصغرى Micronutrients

وهي العناصر التي يحتاجها النبات بكميات قليلة وتشمل كما سبق أن بينا ذلك في الفصول السابقة عناصر الـ (Fe, Cu, Mn, Zn, B, Mo and Cl) ويبلغ تركيزها حوالي 1-200 جزء بالمليون (ppm) في مادة النبات الجافة .

منذ منتصف القرن الحالي بدأ الاهتمام بالعناصر الغذائية الصغرى أكثر فأكثر للمحاصيل الحقلية والخضروات والفاكهة واشجار الغابات و في تغذية الانسان وكذلك في تغذية وتربية الحيوان وذلك لان التوسع في الانتاج الزراعي واستخدام نظام الزراعة الكثيفة قد ادى الى ظهور أعراض نقص العناصر الغذائية الصغرى (1978, Bergmaun **et al.**,) .

إن انخفاض الحاصل بسبب وجود نقص العناصر الغذائية الصغرى قد يتأرجح من أجزاء بالمئة الى عدم الحصول على الحاصل نهائيا . كما ان نوعية الحاصل قد تتأثر حيث نحصل على حاصل قليل ذو نوعية رديئة . ويرى (1965, Schmitt) ان علم تغذية النبات قد خطا الخطوة الثالثة عند اهتمام الباحثين بالبحوث التطبيقية والعملية لتوضيح العلاقات بين امتصاص العناصر الغذائية الصغرى وحاجة النباتات من هذه العناصر وتأثيرها على الحاصل ونوعيته .

اما الخطوة الاولى فهي الآراء القيمة التي طرحها العالم الالماني الغربي (Justus Von Liebig) منذ اكثر من 150 عاما والتي لاقت قبولا واستحسانا واهتماما في مختلف أرجاء العالم حول النظرية المعدنية (Mineral theory) واهمية اضافة العناصر الغذائية المعدنية غير العضوية وتصنيعها لرفع كفاءة النبات لانتاج أعلى حاصل وأجود نوعية .

اما الخطوة الثانية فهي الاهتمام بالمشاكل المترتبة عن درجة تفاعل التربة وتأثيراتها المختلفة على نمو النبات وجاهزية وامتصاص العناصر الغذائية .

إن الاهتمام بالعناصر الغذائية الصغرى في الوقت الحاضر وفي المستقبل تعود لاهميتها من الناحية التطبيقية في تغذية النبات والتي قد ترجع للاسباب الآتية : —

1) الاتجاه المتعاظم في زيادة اضافة العناصر الغذائية الكبرى والاستغلال الامثل للترب الزراعية مع تطبيق نظام الزراعة الكثيفة والحصول على حاصل عال ذو نوعية جيدة ، كل ذلك يدعو للاهتمام بالعناصر الغذائية الصغرى لضمان نمو صحي للنبات .

2) الاستخدام المتزايد من اسمدة العناصر الغذائية الكبرى ذات التركيز العالي والفقيرة بالعناصر الغذائية الصغرى ولذلك اصبحت الترب فقيرة بالعناصر الغذائية الصغرى مقارنة بمحتواها من هذه العناصر عما كانت عليه في الماضي ان لم يكن اصبح وجودها في الترب يكاد يكون معدوما .

3) استخدام الاصناف المحسنة ذات الانتاجية العالية والنوعية الجيدة وذات الاحتياجات العالية من العناصر الغذائية وبالتالي فانها تكون مستهلكة للعناصر الغذائية المتواجدة في التربة ولذلك فإن الحاجة تدعو الى اضافة العناصر الغذائية الكبرى او الصغرى لتمكين النباتات من الحصول على احتياجاتها العالية من العناصر الغذائية في فترة زمنية محددة والمخصصة لها في الدورة الزراعية .

4) الاستخدام المتزايد للثروة الحيوانية وتخصيص مساحات شاسعة من الاراضي الزراعية لرعيها مباشرة من قبل الحيوانات فإن ذلك بلاشك يؤدي الى استهلاك كميات لا بأس بها من العناصر الغذائية الكبرى والصغرى نتيجة لتغذية الحيوانات على نباتات أعلاف المراعي مما يقلل محتوى الترب من العناصر الغذائية ومنها العناصر الغذائية الصغرى .

5) استخدام كميات كبيرة من العناصر الغذائية الكبرى يعمل على عدم التوازن الايوني والذي يكون بطبيعة الحال في غير صالح العناصر الغذائية الصغرى في الترب وهذا قد يؤدي الى عرقلة او تقليل امتصاصها مالم تضف هذه العناصر الصغرى في صورة أسمدة للتربة لضمان عملية التوازن الايوني في التربة بين العناصر الغذائية الكبرى والعناصر الغذائية الصغرى .

إن اهمية العناصر الغذائية الصغرى للنبات ترجع لعلاقتها المهمة في اجراء مختلف التفاعلات الحيوية والتي تعود لتأثيراتها المباشرة او غير المباشرة في تنشيطها للانزيمات المختلفة والتي تقدر بآلاف الانزيمات والمسؤولة عن التفاعلات الايضية

المختلفة التي يقوم بها النبات والانسان أو الحيوان . وتكمن أهمية العناصر الغذائية الصغرى في أن كميات قليلة منها تقدر بالأجزاء بالمليون يكون لها تأثيرات فسيولوجية مهمة كما ان كميات صغيرة منها تقدر بالاجزاء بالمليون يمكن أن تؤدي الى سمية قليلة أو كبيرة .

إن كثيرا من الانزيمات تحتوي على العناصر الغذائية الصغرى داخلة فعلا في بنائها والذي يطلق عليه فيهذه الحالة اسم(Conjugated Protein or enzyme) فمثلا قد تكون العناصر الغذائية الصغرى هي الجزء الفعال في بنية العوامل المساعدة للانزيمات (Coenzymes) او العوامل المرافقة للانزيمات (Prosthetic groups) او قد يصادف احيانا ان تكون العناصر الغذائية الصغرى محفزة للانزيم (activator) ويذكر أن هذه الانواع الثلاثة المشاركة للانزيمات يطلق عليها بالعوامل المشاركة (Cofactor) .

ومما تجدر الاشارة اليه ان العناصر الغذائية الصغرى قد تلعب دور المحفزات او المثبطات او كلاهما معا لعمل الانزيمات في التفاعلات الحيوية المختلفة . ولذلك فإنه أصبح مقبولا ومفهوما لدى الكثيرين لماذا يطلق علماء الكيمياء الحيوية والفسلجة على العناصر الغذائية الصغرى اصطلاح العوامل المساعدة الحيوية لاهميتها الكبيرة في التفاعلات الحيوية للنبات والانسان والحيوان .

اما عن الكميات المناسبة من العناصر الغذائية الصغرى ومدى تواجدها في الخلايا الحية ومدى نشاطها أو بمعنى آخر مدى ميلها للارتباط بمجاميع الجزيئات العضوية بحيث تستطيع ان تحل محل بعضها أو أن يعوض أحدها الآخر أو أن ينشط أو يثبط التفاعلات الحيوية المختلفة والذي يكون من نتيجته احداث نمو مثالي أو نمو غير طبيعي فقد تناول ذلك (1964, Schutt) في دراساته العديدة .

ومن الامور المهمة الاخرى والتي يجدر الاشارة اليها هو أن عمل العناصر الغذائية الصغرى والتي تنشط الانزيمات هو قدرتها على تغيير تكافئها وبالتالي تكون الانزيمات مؤهلة نتيجة لزيادة نشاط نظام الاكسدة والاختزال (Redox potential) في تغيير شكل المواد المتفاعلة او قادرة على تغيير شكل بروتين الانزيم نفسه مما يجعل الانزيمات في وضع يمكنها من نقل الالكترونات بدرجة عالية أو بدرجة اقل وبهذه الكيفية تسير الانزيمات مختلف التفاعلات الحيوية للخلايا الحية المختلفة .

ونتيجة لارتباط العناصر الغذائية الصغرى في نظام الانزيم تزداد كفاءة عمليات الاكسدة والاختزال بعشرات أو مئات المرات كما في حالة عنصر النحاس

وعلى هذا الاساس يجب أن تكون العناصر الغذائية الصغرى متواجدة بداخل الخلايا الحية وبنسب متوازنة مع بعضها البعض وكذلك متوازنة مع العناصر الغذائية الكبرى .

إن تأثير العناصر الغذائية الصغرى لايتوقف فقط على نمو وتطور النبات بل تمتد تأثيراتها الى مختلف التفاعلات الحيوية التي تحدث بداخل النبات وبالتالي تؤثر على حاصل النبات وخاصة مكوناته من البروتينات والدهون والكربوهيدرات والفيتامينات مما ينتج عنه تأثيرات على الانسان نفسه .

لهذا السبب يضع العلماء نصب اعينهم في الوقت الحاضر ان زيادة الانتاج وتحسين نوعيته وما يؤثره على غذاء الانسان والحيوان يستحيل تحقيقها بدون الاهتمام بالعناصر الغذائية الصغرى . كما يجب أن يكون في الحسبان أن هذا الهدف لايمكن تحقيقه الا باجراء التجارب العلمية والتطبيقية وتحتاج الى الخبرة والملاحظات الحقلية المكتسبة من التجارب العديدة للتسميد بالعناصر الغذائية الصغرى سواء في البيوت الزجاجية أو في الحقل .

كما يجب أن يلاحظ ان التسميد بالعناصر الغذائية الصغرى قد يؤدي الى نتائج عكسية على الحاصل ونوعيته حيث أن زيادة التراكيز قليلا فوق المستوى الذي يحتاجه النبات لنموه ونشوئه قد لايؤدي الى تحسين الحاصل ونوعيته بل يؤدي الى آثار سلبية لما تسببه من سمية للنبات أو لما تسببه من خطر للسمية على الحيوان أو الانسان عند التغذي على منتوجات هذه النباتات او ماتسببه من تلوث للبيئة بوجه عام .

وسنشرح هذه العناصر الصغرى باختصار :

1.2.7— الحديد Iron (Fe)

(أ) فكرة عامة

يكون الحديد حوالي 5% من وزن القشرة الارضية ، كما إنه يعتبر من أكثر العناصر الغذائية الصغرى وجودا في التربة والنبات . يوجد الحديد في الترب بحدود 2% أي حوالي 20000 جزء بالمليون . بينما يبلغ محتوى الحديد في النباتات من 50—200 جزء بالمليون . ولكننا قد نجد أحيانا تراكيز بحدود 800 ppm وحتى 2000 ppm . إن الجزء الاكبر من حديد التربة يوجد في الصفائح البلورية لكثير من المعادن الاولية مثل الاولفين (Olivine) والأوجيت (Augite)

والهورنبلند (Hornblende) والبيوتيت (Biotite) . إن هذه المعادن تشكل المصدر الرئيسي للحديد في الصخور النارية . كما يدخل الحديد في تكوين عدد من الاكاسيد الاولية مثل الهياتيت (Fe_2O_3) والماكنتايت (Fe_3O_4) . وفي الصخور الرسوبية تعتبر أكاسيد الحديد الاولية وكذلك كربونات الحديد والتي تعرف بالسيدرايت (Siderite) من اكثر اشكال الحديد الاولية المعروفة . كما أن مركب البايرايت (FeS_2) (Pyrite) يعد من مركبات الحديد المعروفة . يمتص الحديد بالدرجة الاساس على صورة الحديد الثنائي التكافؤ Fe^{2+} غير ان النبات يمكنه امتصاص الحديد بشكل مركب عضوي مثل مركبات الحديد الخلبية عن طريق الجذور . كما ان النباتات يمكنها أخذ الحديد عن طريق الاوراق عند رش النباتات بمحاليل الحديد مثل كبريتات الحديدوز .

إن تأكسد الحديد الثنائي التكافؤ بواسطة الهواء وتحوله الى الحديد الثلاثي التكافؤ يقلل من جاهزية الحديد للنبات حيث قد يترسب غالبا على هيئة هيدروكسيد الحديديك $Fe(OH)_3$ غير القابل للامتصاص والذي يحدث غالبا تحت الظروف القاعدية .

إن الاختزال الشديد للحديد والذي يحصل في حقول الرز الغدقة بواسطة البكتريا غير الهوائية يعمل على زيادة تركيز الحديد الثنائي بشكل كبير والذي بالطبع يمتص من قبل نبات الرز مسببا التسمم حيث تتلون الاوراق في البداية ببقع قهوائية صغيرة والتي ماتلبث أن تشمل جميع نصل الورقة وتعرف هذه الحالة بالتلون البرونزي (Bronzing) . وتعتبر هذه الحالة شائعة في حقول الرز والتي تحدث غالبا عندما يصل محتوى الحديد في اوراق النبات الى اكثر من 200 ppm (1970 Tanaka and Yoshida) . وعموما تعتبر نباتات الشوفان والرز والسبانغ والكرفس والمعدنوس والخس غنية بعنصر الحديد .

اما اهم العوامل التي تحدد جاهزية الحديد وامتصاصه فهي :

1) محتوى الترب من الكالسيوم والمغنيسيوم .

2) وجد أن أنيون البيكربونات يحل محل الفوسفات على سطوح معادن الطين فيتحرر أنيون الفوسفات الى محلول التربة والذي يعمل على ترسيب الحديد على شكل فوسفات الحديديك مما يقلل من جاهزية الحديد للنبات .

3) نقص الاوكسجين وزيادة تركيز غاز CO_2 يقلل من امتصاص الحديد بواسطة جذور النبات بشكل ملحوظ .

4) الجفاف أو نقصان الرطوبة والمرتبطة بعمليات الاكسدة والاختزال تؤثر في جاهزية الحديد للنباتات .

5) محتوى الترب من الطين والمادة العضوية .

6) ان المعادن الثقيلة ترتبط بدلاً من الحديد على المادة العضوية وتطرده الى محلول التربة وتزيد من جاهزيته للنبات وتكون القدرة على طرد الحديد كالآتي : ـ

$$Cu^{2+} > Ni^{2+} > Co^{2+} > Zn^{2+} > Cr^{2+} > Mn^{2+}$$

7) النسبة بين $\frac{P}{Fe}$ (نسبة الفسفور الى الحديد) وجد ان النسبة في النباتات السليمة هي من 40-50 أما النباتات التي تعاني من نقص الحديد كانت النسبة أكثر من 60 .

8) وجد ان زيادة الكالسيوم عن 3% في المادة الجافة وكذلك زيادة الـ Mn عن 400 ppm ، الـ Al عن 250 ppm والـ SO_4 عن 700 ppm تجعل النسبة بين عناصر الـ Al, Mn, Fe سيئة مما يعرقل امتصاص الحديد بواسطة جذور النبات (1983, Bergmann) وقد أشار الباحث نفسه الى ان النسبة المثالية للـ $\frac{Fe}{Mn}$ هي 1.5-2.5 .

9) كما وجد أن زيادة الـ H_2S عن 2-3 ملغم/ 100 غم تربة والتي كان لها أثر سام على النباتات قد أدت الى عرقلة امتصاص العناصر الثقيلة ومنها الحديد .

10) كما أشارت الدراسات ان تغذية النباتات بالـ $N\text{-}NO_3$ ذات التأثير الفسيولوجي القاعدي قد قللت امتصاص الحديد بعكس $N\text{-}NH_4^+$ ذات التأثير الفسيولوجي الحامضي التي أدت الى تشجيع امتصاص الحديد .

(ب) وظائف عنصر الحديد في النبات :

1) يشترك الحديد في مساعدة تكوين الكلوروفيل بالرغم من انه لايدخل في تكوينه .

2) يدخل في تكوين السايتوكرومات (Cytochromes) ذات الأهمية الكبيرة في عمليتي التركيب الضوئي والتنفس . حيث يشترك أنزيم الـ Cytochrome Oxidase في عملية نقل الالكترونات لسلسلة عملية التنفس . كما ان مركب الفايتوفرتين (Phytoferritin) عبارة عن بروتين فوسفاتي حديدي يعتبر مخزناً للحديد في البلاستيدات الخضراء ، حيث وجد ان 80% من الحديد الكلي يوجد في البلاستيدات الخضراء وهذا يوضح أهميته في عملية التركيب الضوئي .

3) اما الفيريدوكسين (Ferredoxin) والذي يوجد ايضاً في البلاستيدة الخضراء فهو عبارة عن بروتين حديدي كبريتي والذي تبلغ قدرته

الاختزالية (-432) مليفولت ويشترك في عملية التركيب الضوئي حيث يساهم في عمليات الاكسدة والاختزال وذلك بنقل الالكترونات . كما يشترك ايضاً في عملية اختزال النترات الى امونيا وفي اختزال الكبريت وفي تثبيت النتروجين الجوي . كما وجد ان له القدرة على اختزال NADP الى $NADPH_2$.

4) الدراسات الحديثة قد أشارت الى دوره في عملية تكوين الـ RNA .

5) له علاقة بعملية تكوين البروتين بصورة غير مباشرة من جراء نقص التركيب الضوئي او تمثيل النتروجين ولقد وجد ان اشجار الفاكهة التي تعاني من نقص الحديد قد إنخفضت نسبة البروتين في أوراقها الى اكثر من 50% مقارنة بالنباتات السليمة .

(جـ) اعراض نقص الحديد :

الحديد من العناصر البطيئة الحركة داخل النبات ولذلك تظهر اعراض نقصه اولاً على الاوراق الحديثة للنبات حيث يسبب اصفراراً لجميع نصل الورقة وتظل عروق الورقة محتفظة بلونها الاخضر وفي حالة اشتداد النقص قد تبدو الاوراق الحديثة صفراء أو حتى بيضاء بما في ذلك عروق الورقة . وقد يحدث نخر موضعي (Necrosis) على قمة وحواف الاوراق أو موزع بشكل غير منتظم فيما بين العروق أو على العروق نفسها وتكون قمة الورقة مشوهة ومدببة كما في حالة نقص المنغنيز .

كما أن نقص الحديد قد يسبب انحناءً شديداً لحواف الورقة الى الاسفل حيث تبدو الاوراق بشكل القارب المقلوب كما في حالة نبات الكاكاو .

كما يلاحظ تقزم النبات مع ضعف المجموع الجذري مع حدوث الموت التراجعي (Dieback) على قمة الشجرة أو نهايات الافرع والسيقان .

ويذكر ان انتشار نقص الحديد على اشجار الفاكهة اكثر من انتشاره على المحاصيل الحقلية والخضروات .

أما الشحوب اليخضوري الكلسي (Lime-stone chlorosis) فناتج عن زيادة وجود الكلس (Lime) في التربة أو اضافته لها والذي يسبب نقص الحديد على النباتات بالدرجة الاساس .

(د) علاج نقص الحديد :

بوجه عام لاينصح باضافة املاح العناصر الغذائية الصغرى الى التربة مباشرة في حالة الترب القلوية او القاعدية والتي يزيد تفاعل تربتها (pH) عن 7 حيث

سرعان ماتترسب العناصر الغذائية الصغرى في صورة مركبات معقدة غير جاهزة للامتصاص بواسطة جذور النباتات .

لذا بالنسبة لظروف العراق يفضل اضافة الحديد المخلبي

Fe-APCA Amino poly carboxylic acid

أو استخدام الـ HEEDTA والذي هو عبارة عن Hydroxy ethylethylene diamine tetra acetic acid .

اما الحديد المخلبي Fe-EDTA

(Ethylene diamine tetra acetic acid) فهو يصلح للترب الحامضية او المتعادلة او حتى القاعدية الخفيفة ولكن يشترط أن يكون محتوى الترب من $CaCO_3$ منخفضاً لان كثرته تجعل الكالسيوم يحل محل الحديد في المركب المخلبي ويتحرر الحديد الى التربة والذي سرعان ما يترسب في صورة مركبات معقدة مثل $Fe(OH)_3$ او $FePO_4$ او $Fe_2(CO_3)_3$ ويصبح الحديد غير جاهز للامتصاص .

وما دمنا بصدد المركبات المخلبية فيستحسن توضيح ماهية هذه المركبات وطريقة استخدامها .

لقد اشتق اسم المركبات المخلبية (Chelates) من الاسم اليوناني (Chela) والتي تعني المخلب . وتطلق على المواد الكيمياوية التي لها القدرة على مسك واحاطة العناصر وحمايتها وجعلها مقاومة للظروف الخارجية حيث تعمل لها كغطاء مانع او واقي ومنع تحررها الى محلول التربة .

وفي الطبيعة توجد مواد كثيرة في الترب والتي يمكن وضعها ضمن المركبات المغلفة مثل احماض الستريك والتارتاريك والاسكوربيك والاحماض الامينية أيضاً .

ونظراً لكون هذه المواد غير متوفرة دائماً او لا تبقى ثابتة وبشكل فعال في التربة فقد تم تصنيع المواد المخلبية السالفة الذكر . فمثلاً تعتبر جزيئة الكلوروفيل التي تغلف عنصر المغنيسيوم وجزيئة الهيمين التي تحيط بعنصر الحديد وفيتامين B_{12} الذي يمسك بعنصر الكوبلت في داخله من الأمثلة الجيدة لوجود المركبات المخلبية الطبيعية كما في الشكل (7−11) .

وتكون ايونات العناصر مرتبطة بشدة بجزيئة المركب المخلبي وبموقعين أو اكثر وغير قادرة على الانفصال بسهولة منها وبالتالي تحمى من الفقد او الترسيب اذا ماكانت الظروف البيئية او الخارجية غير ملائمة .

إن بعض المركبات المخلبية لها قابلية كبيرة على الذوبان كما في حالة مركبات الحديد المخلبي حيث تذوب هذه المواد مع ايونات الحديد والمرتبطة معها وتكون

Haemin جزيئة الهيمين

in chlorophyll b → (CHO)

Phytol side chain ($C_{20}H_{39}$)

جزيئة الكلوروفيل (chlorophylla)

شكل (7-11) توضيح لجزيئتي الهيمين اعلى الشكل وجزيئة الكلوروفيل (a) في اسفل الشكل . وفي حالة جزيئة الكلوروفيل (b) تستبدل مجموعة (CH_3) بمجموعة (CHO) ورمز لحلقات Pyrrole الاربعة بالرموز (IV, III ، II ، I) عن (Mengel and Kirbky, 1982)

جاهزة للامتصاص بواسطة جذور النباتات . وقد يمتص المركب المخلبي بما فيه أيونات العنصر من الجذور وينتقل الى الاوراق في الوقت الذي ما يزال فيه العنصر متحداً مع المركب المخلبي وحتى يصل الى الاوراق وهنا يحصل انفصال للعنصر عن مركبه المخلبي نتيجة للتفاعلات الكيمياوية التي تحدث داخل الخلية النباتية للورقة . وهناك آراء عن امكانية نزع العنصر من مركبه المخلبي على سطح الجذور نتيجة لوجود مركبات مخلبية طبيعية قوية في الخلايا السطحية للجذر والتي تكون لها السيطرة على جذب او نزع ايونات العنصر من مركباته المخلبية الصناعية .

هذا ويشترط أن يتوفر في المواد المخلبية المواصفات الاتية :

1) قابليتها على ربط العنصر ومقاومتها لايونات العناصر الاخرى والتي تحاول ازاحته والاحلال مكانه .
2) ان تكون مقاومة لعملية التحلل بفعل الاحياء المجهرية في التربة او ترسيبها بفعل هذه الاحياء .
3) ان يكون لها القابلية والاستعداد الكامل لامداد النبات بالعنصر المرتبط معها مباشرة .
4) ان يكون استعمالها اقتصادي وغير سام للنباتات ، هذا ويجب تجنب استخدامها في حالة وجود جروح على النباتات .

ومما تجدر الاشارة اليه ان المركبات المخلبية مع المغذيات الصغرى يمكن استعمالها في التربة مباشرة مع مراعاة نوع التربة ودرجة تفاعلها ومحتواها من كربونات الكالسيوم وكذلك نوع النبات او يمكن رشها كمحاليل على النبات .

وعموماً يمكن علاج نقص الحديد كالآتي :

1) يمكن اضافة املاح الحديد للتربة اذا كان الـ pH ملائماً .
2) رش النباتات بمحلول كبريتات الحديدوز $FeSO_4 .2H_2O$ (والتي تحتوي على الحديد بمعدل 20%) بتركيز لايزيد عن 3% .
(اي 3 كغم في كل 100 لتر ماء) . وعادة يكفي 50-100 لتر من هذا المحلول للدونم . هذا ومن الضروري اضافة المواد المرطبة لتمكين المحلول من الابتلال والالتصاق بالاوراق وفي هذه الحالة يستعمل ضغط يقدر بحوالي 35 باوند/ انج مربع (2.5 كغم/ سم^2) .
3) في حالة استعمال الحديد المخلبي للتربة فإنه يضاف عادة بمعدل 500 غم لكل شجرة مثمرة . وبالنسبة للمحاصيل الحقلية يضاف الحديد المخلبي بمعدل 2-5 كغم والمحاصيل الخضر من 200-600 غم للدونم . اما نباتات الزينة فيضاف لها من 60 الى 250 غم حسب نوعها وعمرها .

ويلاحظ ان اعراض نقص الحديد تزول بسرعة بحدود اسبوع الى اسبوعين حيث تستعيد الاوراق خضرتها .

4) حقن النباتات باملاح الحديد او مركباته المخلبية على هيئة محاليل عن طريق جذع او سيقان النباتات ، وقد اوضحت هذه الطريقة فعاليتها في معالجة اعراض نقص بعض العناصر الغذائية الصغرى ومنها عنصر الحديد .

ومما تجدر الاشارة اليه ان طريقة رش النباتات بمحاليل العناصر الغذائية قد لا تكون ناجحة دائما فمثلا اوراق بعض النباتات ومنها الحمضيات نظرا لاحتوائها على طبقة شمعية سميكة فانها تحد من سرعة انتقال الحديد عبر الاوراق مما يجعل عملية علاج نقصه بطيئة وقد تكون غير مجدية .

2.2.7 ــ المنغنيز (Mn) **Manganese**

(أ) فكرة عامة :

يوجد المنغنيز في كثير من الصخور الاولية والذي يتحرر منها بواسطة عمليات التجوية حيث ينتج عن ذلك عدد من المعادن الثانوية والتي من أهمها معدن البايرولوسيت Pyrolusite (MnO_2) والمانغنيت Manganite MnO (OH) . إن مستويات المنغنيز الكلي في الترب تختلف بشكل كبير حسب نوع التربة ومحتواها من الطين والدبال وكربونات الكالسيوم وكذلك على درجة تفاعلها حيث يلعب الـ pH دوراً أساسياً في تحديد مستوياته . كما ان احياء التربة ومستوى رطوبة التربة وتهويتها تعد من العوامل المهمة بهذا الشأن . فقد وجد (Swaine ,1955) إن تراكيز المنغنيز تتراوح من 200 الى 3000 جزء بالمليون . إن هذا التذبذب الكبير في مستويات المنغنيز قد وجد ايضاً في النبات فعلى سبيل المثال لاحظ (Beeson ,1941) ان تراكيز المنغنيز تتراوح من 14 الى 936 جزء بالمليون في البرسيم . كما وجد ان النباتات النامية في بيئة تفاعل تربتها (pH) اكثر من 7 فإن تركيز المنغنيز في اوراقها كان اقل من 100 جزء بالمليون بينما بلغ تركيز المنغنيز فيها بحدود 1600 جزء بالمليون عندما نميت في وسط حامضي . هذا ولقد أشار (Bergmann ,1983) الى وجود تذبذب في محتوى الاجزاء الهوائية للنبات وقد تراوح من 50 الى 60 مرة ، فكانت التراكيز من 6 الى 150 جزء بالمليون عندما كان تفاعل التربة (pH) من 6.9 الى 8.0 وفي ترب الغابات (لنفس النباتات) عندما كان تفاعلها من 4.5 الى 5.4 وجدت تراكيز من 70 الى 1200 جزء بالمليون منغنيز في مادتها الجافة .

وبوجه عام يعتبر التركيز 20 جزء بالمليون منغنيز في المادة الجافة كافياً لاحداث النمو الطبيعي . بيد ان الخضروات تظهر نقصاً اذا انخفض التركيز عن 50 جزء بالمليون في مادتها الجافة . ويمتص المنغنيز كما في حالة الحديد بالصورة الايونية الثنائية التكافؤ (Mn^{2+}) .

ومما تجدر الاشارة اليه ان الترب الحامضية قد تحتوي على تراكيز سامة من المنغنيز بالنسبة للنباتات . في حين ان الترب المتعادلة قد تحتوي على تراكيز كافية لنمو النبات حيث بلغت التراكيز من 50 الى 500 جزء بالمليون . اما الترب القاعدية ذات المحتوى العالي من كربونات الكالسيوم فتعاني غالباً من نقص المنغنيز .

(ب) وظائف المنغنيز في النبات

هناك وظائف عديدة للمنغنيز في داخل النبات نذكر منها باختصار :

1) يعتبر من أهم العناصر الغذائية في دورة كريبس للتنفس حيث يعد مسؤولا عن عمليات فصل غاز CO_2 (Decarboxylation) والفسفرة (Phosphorylation) .
2) له تأثير في عملية بناء جزيئة الكلوروفيل .
3) يعمل على زيادة نسبة فيتامين C في النباتات كما في حالة عناصر الـ (Cu, Mo, Zn, B,K) .
4) مهم في عملية التركيب الضوئي حيث يشترك مع الكلور في تحليل جزيئة الماء ضوئياً (Photolysis) والحصول على الالكترونات في العملية المسماة بتفاعل (Hill reaction) وهي تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيمياوية في صورتي الـ (ATP) والـ ($NADPH_2$) .
5) وجد انه يشترك مع عناصر (B, Cl, Ca, Mg, Na, K) في تنظيم الجهد الازموزي لخلايا النبات .
6) يشترك في عملية تكوين البروتين من خلال اشتراكه في عملية اختزال النترات ومن خلال توفيره للاحماض الكيتونية في دورة كريبس والتي ترتبط مع الامونيا الناتجة من عملية اختزال النترات لتكوين الاحماض الامينية والتي تعتبر حجر الاساس في تكوين البروتينات .
7) ضروري لتكوين الدهون حيث يشترك في عملية تحويل الـ **Acetyl CoA** الى الـ Malonyl CoA وذلك لأهميته في تنشيط انزيم الـ (Carboxylase) .

8) لقد وجد ان انزيم IAA-Oxidase يكون غير فعال في حالة غياب عنصر المنغنيز .

9) هناك دراسات عديدة قد أوضحت أهمية المنغنيز في رفع كفاءة النباتات لمقاومة الصقيع . كما لوحظت زيادة نسبة السكر في نبات البنجر السكري وكذلك زيادة نسبة الكربوهيدرات لمحصولي الذرة الصفراء والبطاطة . إضافة الى تبكير الازهار في نباتات البطاطا بحدود اسبوعين مقارنة بالنباتات التي عانت من نقص المنغنيز .

(جـ) اعراض نقص المنغنيز :

إن الاصفرار فيما بين العروق والتبقع المصحوب بالنخر الموضعي (Necrosis) يعتبر الصفة المميزة لنقص هذا العنصر والذي يبدأ اولاً على الاوراق المتوسطة ثم الاوراق الحديثة ومع اشتداد نقص العنصر تمتد الاعراض الى الاوراق القديمة ، اما في النجيليات فتظهر الاعراض اولاً على الاوراق المتوسطة وتمتد الاعراض بعد ذلك الى الاوراق القديمة واخيراً الاوراق الحديثة . ومما تجدر الاشارة اليه هو ان الاجزاء الميتة قد تتساقط حيث تبدو الاوراق وكأنها مثقبة بالاضافة الى تمزق وتساقط بعضاً من حواف نصل الورقة .

إن مظاهر نقص المنغنيز قد تختلف كثيراً باختلاف النباتات كما يتضح ذلك من الامثلة الآتية :

الشوفان

يسبب نقص المنغنيز ظهور مرض يطلق عليه التبقع الرمادي (Grey Speck disease) حيث تظهر على اوراق الشوفان بقع شريطية رمادية اللون او بنية غامقة موازية للعرق الوسطي للورقة . وتظهر الاعراض عندما يكون محتوى الاوراق من المنغنيز اقل من 17 جزء بالمليون في مادتها الجافة .

فول الصويا

يلاحظ ظهور بقع غير منتظمة الشكل ممتدة فيما بين العروق الرئيسية وهي صفراء اللون وتتحول فيما بعد الى لون اسمر . وتبدأ الاعراض بالظهور عندما يقل تركيز المنغنيز عن 20-25 جزء بالمليون في المادة الجافة .

الجزر

ظهور بقع برونزية وحروق على حافة الورقة كما يلاحظ تشعب جذر الجزر الواحد الى عدد من التوائم والملتحمة من اعلى مع تغطيتها بشعيرات جذرية كثيفة . كما ان النبات نفسه يكون متقزماً أي صغير الحجم .

التبغ

الاوراق الحديثة التكوين تكون فاتحة اللون اما الانسجة الواقعة بين العروق الرئيسية فتصبح خضراء فاتحة اللون وغالباً ماتكون بيضاء في حين تظل العروق محتفظة بلونها الاخضر ومع تقدم الاصابة تظهر بقع ميتة بين العروق الرئيسية للاوراق ويكون النبات بوجه عام صغير الحجم .

البزاليا

يلاحظ ظهور بقع سمراء موازية لعروق الورقة وأخيراً تصبح الورقة صفراء بينما تظل عروق الورقة خضراء . تظهر اعراض مشابهة على اللوبيا وفستق الحقل ويلاحظ في مثل هذه النباتات بالاضافة الى ماسبق ذكره ظهور مرض Marsh Spot على بذورها .

الخيار

ظهور اصفرار فيما بين العروق الرئيسية على الاوراق المتوسطة اما العروق فتكون خضراء وتكون الاعراض هنا من حيث المظهر شبيهة بنقص الحديد ، اما في الاوراق الحديثة فتظل العروق الرئيسية للورقة مع منطقة تحيط بها وخاصة بالقرب من عنق الورقة محتفظة بلونها الاخضر الداكن .

البطاطا

يلاحظ ظهور بقع منتشرة بشكل كبير على جميع نصل الورقة تقريباً وخاصة فيما بين العروق مع احتفاظ العروق بلونها الاخضر .

(د) علاج نقص المنغنيز :

يمكن استعمال احد الطرق الآتية والتي

1) اضافة املاح المنغنيز للتربة وخاصة كبريتات المنغنيز $MnSO_4$ وتتوقف الكمية المضافة على تفاعل التربة (pH) فعلى سبيل المثال اشارت المراجع الى : ـ

أ ـ التربة المتعادلة والخفيفة الحامضية يضاف لها من 15 الى 30 كغم من $MnSO_4$ للدونم.

ب ـ التربة المتعادلة والخفيفة القاعدية يضاف لها من 30 الى 60 كغم من $MnSO_4$ للدونم.

جـ ـ التربة الشديدة القاعدية يضاف لها من 60 الى 120 كغم من $MnSO_4$ للدونم.

2) استخدام طريقة رش النباتات بأملاح المنغنيز حيث تكون أكثر فاعلية واقل كلفة من الناحية الاقتصادية حيث تستخدم محاليل $MnSO_4$ بتركيز من 1-2% او من 0.1-1% من المنغنيز المخلبي.
ان استخدام طريقة الرش أو اضافة المنغنيز المخلبي للتربة مباشرة تعد من احسن الطرق لعلاج النقص وخاصة في الترب القاعدية ذات المحتوى العالي من كربونات الكالسيوم.

ومما تجدر ملاحظته هو تساقط الاوراق في مرحلة مبكرة من النمو والتي تبدأ من قمة النبات مسببة ظاهرة الموت التراجعي (Dieback) كما يلاحظ تشوه الاوراق حيث تكون قمة الورقة رفيعة ومدببة.

كما ذكر أن ثمار الخوخ تكون عرضة للتمزق وكذلك تشوه ثمار الموز حيث يكون العنقود الثمري صغير الحجم وتكون الاصابع صغيرة وعلى نهايتها نتوءات خضراء شبيهة بالشعر.

إن السمية بالمنغنيز تسبب غالباً نقصاً بعنصر الحديد كما انه ليس غريباً ظهور نقص عنصري الحديد والمنغنيز على نفس النبات حيث تكون الاوراق العلوية مصابة بنقص الحديد في حين الاوراق المتوسطة والسفلية مصابة بنقص المنغنيز وهذه الحالة قد شوهدت في اشجار العنجاص.

وقد يحدث التباس في تشخيص نقص عناصر المغنيسيوم والمنغنيز والحديد ونود هنا ان ننبه الى ذلك حيث ان نقص المغنيسيوم يظهر اولا على الاوراق القديمة في حين ان احدث الاوراق تكون هي المعرضة لنقص الحديد اما نقص المنغنيز فغالباً ما يبدأ على الاوراق المتوسطة.

3.2.7 ـ الزنك (Zn) Zinc

(أ) فكرة عامة

يوجد الزنك في الطبيعة بكميات تفوق كثيراً كميات النحاس وقد تصل الى اكثر من 100 مرة . وهو يوجد في القشرة الارضية بحدود 80 جزء بالمليون ، أما في الترب فتبلغ تراكيزه من 10-300 جزء بالمليون معتمداً في ذلك على نوع التربة ومحتواها من الطين والمادة العضوية ودرجة تفاعلها . حيث لوحظ عند pH من 5.5-6.5 أن تركيز الزنك الجاهز للامتصاص يكون منخفضاً جداً حيث يشكل خطراً حقيقياً على نمو النباتات . كما تبين أن تراكيز الزنك الجاهز للامتصاص تكون قليلة في كل من الترب الرملية والترب الطينية ذات المحتوى العالي من المواد العضوية حيث أشارت الدراسات أن الزنك يكون مركبات معقدة مع المادة العضوية وهذه تكون غير جاهزة للامتصاص والمعروف ان الزنك يمتص فقط على الصورة الثنائية التكافؤ اما عملية امتصاص الزنك الخلبي فهي حسب رأي (Halvorson and Lindsay 1977) غير ممكنة .

وعموماً تعتمد مستويات الزنك في الترب على المادة الاصلية (Parent material) التي نشأت منها هذه الترب . وتعتبر الترب المتكونة من الصخور النارية عالية المحتوى من الزنك أما تلك التي تكونت من الصخور السليكاتية الحامضية تكون منخفضة المحتوى من الزنك وبالتالي أيضاً من الزنك الجاهز للامتصاص .

يمكن حدوث احلال متماثل (Isomorphous replacement) للزنك محل كل من الحديد والمغنيسيوم نظراً لتقارب أنصاف أقطارها الايونية في معادن التربة مثل الاوجيت والبيوتيت والهورنبلند . بالاضافة الى ذلك فان الزنك يدخل في تكوين عدد من الاملاح والتي من أكثرها انتشاراً في الطبيعة هو ZnS ، (ZnFe)S الـ (Sphalerite) و ZnO (Zincite) ، $ZnCO_3$ (Smitsonite) . وفي بعض أنواع الترب يمكن أن يتواجد الزنك على شكل سليكات مثل $ZnSiO_3$ أو $ZnSiO_4$ (Willemite) . إن ثلثي كمية الزنك توجد في الطبقة السطحية للتربة حيث ان بقايا النباتات تشكل بعد تفسخها مصدراً جيداً له .

هذا ويقدر ما يمتص من الزنك بواسطة النباتات بحوالي 25 الى 75 غم في حين تمتص النباتات ما يقرب من 125 الى 250 غم Mn للدونم .

إن محتوى النبات من الزنك يبلغ عدة أضعاف محتواه من النحاس او المولبدنم ، والذي يتراوح من 20 الى 100 جزء بالمليون . ويعتبر التركيز الحرج للزنك في النباتات هو 20 جزء بالمليون والذي تبدأ عنده النباتات تعاني من نقص الزنك

وتعتبر نسبة الفسفور الى الزنك في النبات من المؤشرات المساعدة لل
وجود نقص الزنك في النبات فقط أعطى (Rahimi and Bussler,
النسبة 211 و 231 في كل من الاوراق القديمة والحديثة والتي يظهر عند
الزنك لنبات الذرة الصفراء . وهذا يتعارض عما ذكره (Blasl and
Mayr) واللذان أعطيا النسبة 65 لل $\frac{P}{Zn}$ والتي حققت نمواً صحياً
الذرة الصفراء .

أما (Marschner and Schropp, 1977) فقد أقترحا النسبة P/
100 و 1000 في المادة الجافة في حالة الزراعة في كل من التربة والمزارع ا
على التوالي لنبات العنب .

إن تحرك الزنك في النبات قليل ولكنه أفضل من تحرك عناصر
والبورون والمولبدنم . كما ان تحركه في الاوراق الحديثة أفضل منها لل
القديمة .

(ب) وظائف الزنك في النبات

١) يقوم الزنك بتنشيط عدد من الانزيمات والتي منها
أ – ينشط أنزيم الـ enolase كما في حالة عنصري الـ Mg ، Mn .
ب – في الفترة الاخيرة تم اكتشاف عدد من الانزيمات والتي يدخل الزنك
تكوينها وهي Lactic acid dehydrogenase ، ...itamic acid,
dehydrogenase, Alcohol dehydrogenase وكذلك في
Proteinases والـ Peptidases كما أشار الى ذلك (Vallee, 70
and Wacker) .
جـ – يعتبر عنصر الزنك متخصصاً لانزيم Carbonic anhydrase حيث ي
كعامل مساعد للتفاعل : –

$$_2O + CO_2 \longrightarrow H^+ + HCO_3^-$$

إن وجود هذا الانزيم في البلاستيدات الخضراء وعلى وجه التحديد
(Stroma) يعمل كمنظم (buffer) للرقم الهيدروجيني (pH) المرتب
بضخ الهيدروجين (H-pump) وبالتالي فهو يعمل على حماية البروتينات
فقدان طبيعتها وحيويتها (Denaturation) كما أنها تعمل على تخليد
النبات من CO_2 السام نتيجة لاندماجه في ribulose-1,5-diphosphate

ومن جهة اخرى فان هذا الانحلال قد يساهم في عملية امتصاص النبات لعناصره الغذائية (Mengel 1968) .

د) انه منخفض لبروتينات السايتوكرومات ولا تستطيع عناصر الحديد والنحاس او المنغنيز تعويضه في ذلك .

2) يحتاج اليه في تكوين الحامض الاميني Trypophan والذي يتكون منه الهرمون IAA (Indole acetic acid) الضروري لاستطالة الساق او الخلايا عموماً .

$$\text{Indole}-CH_2-CH(NH_2)-COOH$$

Tryptophan

$$\text{Indole}-CH_2-COOH$$

Indole acetic acd (IAA)

3) ضروري لعملية الفسفرة وتكوين الكلوكوز وبالتالي فان نقصه يوقف عملية تمثيل النشأ . كما ان نقصه يسبب تراكم الدهون والفسفوليبدات مثل الليشين وكذلك تراكم المركبات الفينولية في الفجوة العضارية .

كما لوحظ تراكم لون بني ناتج عن تجمع بلورات اكسالات الكالسيوم والمركبات التانينية في النسيج المتوسط للورقة .

4) يساعد في عملية تكوين الكلوروفيل ويرجع ذلك لتأثيره المباشر على عمليات تكوين الاحماض الامينية والكربوهيدرات ومركبات الطاقة .

5) نقصه يؤثر على تكوين حبوب اللقاح . كما تتبين أهميته في انقسام الخلايا وتكوين الخلايا المرستيمية الثانوية وعليه فهو ضروري لزيادة سمك الخلايا .

6) يزيد من تكوين فيتامين C وكذلك مجموعة فيتامين B المعقدة (Vitamin B-Complex) .

7) إن للزنك دوراً في تحولات عنصر النتروجين حيث ثبت أهميته في عملية تكوين RNA الضروري في عملية تكوين البروتين .

(جـ) أعراض نقص الزنك

يطلق على نقص الزنك مصطلحات كثيرة أهمها تقزم أو صغر حجم الورقة (Little Leaf) وكذلك تورد التفاح (Rosette of apple) حيث تكون السلاميات

قصيرة والاوراق متجمعة بشكل يشبه باقة الورد . وايضاً في الحمضيات يدعى نقصه بالـ Mottle Leaf or Frenching of citrus . إن التبقع والاصفرار الموازي للعروق الرئيسية وصغر حجم الاوراق وزيادة سمكها وتشوهها والتي تكون هشة سهلة التكسر تعتبر من أهم سمات نقص الزنك . وبالرغم من ذلك فهناك أعراض معينة يتميز بها نقص العنصر والتي تختلف باختلاف النباتات كما يتضح ذلك فيما يلي : ـ

النجيليات

في النجيليات وخاصة نبات الذرة الصفراء ظاهرة بياض البرعم الطرفي (White bud) حيث تصبح الاوراق القمية بيضاء اللون تماماً وقبل هذه المرحلة وعلى الاوراق القديمة يلاحظ تكون شريط أصفر بعرض 2-3 سم في كلا نصفي نصل الورقة ويكون موازياً للعرق الوسطي للورقة ويظل العرق الوسطي والمنطقة المحيطة به وخاصة منطقة اتصال الورقة بالساق محتفظين بلونها الأخضر .

البقوليات

تظهر الاعراض أولاً على الاوراق القديمة حيث يلاحظ وجود موت موضعي على قمة وحواف الاوراق والتي تكون بنية غامقة مع انحناء حواف الاوراق للاعلى . يحدث تساقط للاوراق القديمة وكذلك تساقط العديد من الازهار . وقد لا تتكون القرنات واذا ما تكونت القرنات يكون عدد بذورها قليل وصغيرة الحجم . ويكون المظهر العام للنبات متقزماً .

البطاطا

تقريباً نفس أعراض البقوليات الا لن حواف الاوراق المنحنية للاعلى تكون ما يشبه البوق أي ملعقية الشكل .

الطماطة

يحدث تقزم شديد للنبات بحيث لا يتجاوز ثلث النبات العادي ، والساق رفيعة مع انحناء حواف الوريقات للاعلى كما في البطاطة وحدوث تبقع غير منتظم على الاوراق . كما يحدث انحناء الاوراق وأعناقها للاسفل حيث تكون متدلية للاسفل بشكل يشبه الاعلام المنكسة . وكلما اتجهنا الى أعلى النبات كلما صغر حجم الاوراق والاوراق الحديثة تكون اكثر سمكاً وتكون ايضاً صلبة وهشة سهلة التكسر .

الرملية الحامضية يفضل رش النباتات لسهولة غسل الزنك منها وكذلك بالنسبة للترب القاعدية والتي لها القابلية العالية على تثبيت الزنك فيها .

وبالرغم من الافكار والاراء التي نادت بعدم جدوى استخدام مركبات الزنك المخلبية في الماضي بسبب درجة ثبوتيتها العالية الا انه في الاونة الاخيرة قد تبين بطلان هذه الادعاءات حيث اشارت الدراسات الى نجاح اضافة مركبات الزنك المخلبية مثل Zn-EDTA اما رشا على النباتات او اضافتها للتربة مباشرة (Mengel, 1982) .

4.2.7 ـ البورون

(أ) فكرة عامة :

يوجد البورون في التربة بشكل رئيسي على هيئة حامض البوريك (H_3BO_3) أو على شكل ايونات البورات التي تتواجد في محلول التربة او متبادلة على غرويات التربة . يعتبر معدن التورمالين (Tourmaline) والذي يحتوى على 10% بورون من اكثر معادن البورون انتشاراً في التربة وهو يقاوم بشدة عمليات التجوية ولذلك فانه لا يساهم كثيراً في مستويات البورون الجاهز للنباتات . تعتبر الصخور الرسوبية والترسيبات البحرية او النهرية غنية بالبورون مقارنة بالصخور النارية . وتبلغ مستويات البورون في الصخور الرسوبية بما يقرب من 100 جزء بالمليون في حين ان مستواه في صخر الجرانيت الناري هو حوالي 15 جزء بالمليون وبوجه عام فإن مستويات البورون في الترب هي بحدود 7 الى 80 جزء بالمليون كما اشار ذلك (Krauskopf 1972) .

ان ترب المناطق الرطبة وخاصة تلك التي تترشح منها المياه بسهولة مثل ترب البدزول الحامضية تعاني غالباً من نقص البورون .

ان المواد العضوية تحتوى على كميات لا بأس بها من البورون والتي يتم تحرير البورون منها بواسطة احياء التربة المجهرية . ولهذا السبب اذا ما تصادف وجود فترة او موسم جفاف بعد هطول امطار غزيرة في الفترة السابقة وخاصة في الترب الرملية والتي يغسل منها البورون بسهولة فإن ذلك يزيد من شدة تعرض النباتات للنقص الشديد بالبورون حيث يقل في هذه الحالة اعداد ونشاط احياء التربة المجهرية المسؤولة عن تفسخ المركبات العضوية والمحتوية على البورون وتحريره منها الى محلول التربة .

يزداد امدصاص البورون بزيادة الرقم الهيدروجيني (pH) بعكس امدصاص ايونات الفوسفات والمولبدات حيث سجل اعلى امدصاص للبورات ما بين pH 7و 9 .

ان قدرة معادن الطين على امدصاص البورات واحتفاظها بها يفوق كثيراً الـ (Sesquioxides)، كما ان قدرة الـ $Al(OH)_3$ هي اشد تأثيراً في ذلك من الـ $Fe(OH)_3$ كما اشار الى ذلك (Sims and Bingham, 1968) . وقد يعزى السبب في قلة جاهزية البورون بزيادة محتوى الترب من كربونات الكالسيوم الى تأثيرها المباشر في رفع تفاعل التربة وبالتالي زيادة امدصاص البورون في هذه الترب والتي تمسكه بشدة وتمنع تحرره الى محلول التربة . وبصفة عامة فإن الترب التي يكون محتواها اقل من ١ جزء بالمليون تظهر استجابة للتسميد بالبورون .

يمتص البورون في صورة ايونات البورات والتي منها BO_3^{-3} أو $B_4O_7^{-2}$ أو $H_2BO_3^{-}$ أو HBO_3^{-2} .

وبسبب التحرك القليل للبورون في داخل النبات لذا يجب ان يكون متوفراً بصورة جاهزة للنبات بشكل مستمر . ويجب ان يلاحظ ان الاحتياجات من البورون تختلف كثيراً باختلاف النبات وكذلك باختلاف العضو النباتي ، فعلى سبيل المثال يحتاج الجت الى ما يقرب من 0.001 جزء بالمليون بينما تحتاج البزاليا الى حوالي 0.05-2.5 جزء بالمليون في حين ان نبات عباد الشمس يتطلب حوالي 10 جزء بالمليون ولهذا السبب يعتبر نبات عباد الشمس نبات حساس لاظهار نقص البورون في حالة قلة جاهزية البورون في التربة . بينما أدت تراكيز 2 و 3 جزء بالمليون في المحاليل المغذية التي سقي بها الشعير الى احداث سمية وحرق معظم اوراق االنبات . وبناء على ذلك فيمكن استخدام كل من نباتي عباد الشمس والشعير كدليل نباتي في الحقل مع المحاصيل الرئيسية للاستدلال بواسطتها عما اذا كانت النباتات تعاني من النقص او السمية بهذا العنصر في حالة تعذر او عدم توفر الامكانات لأجراء فحوص مختبرية للتربة او العينات النباتية .

ومما تجدر الاشارة اليه ان محتوى البورون يزداد كلما اتجهنا من اسفل النبات الى اعلى النبات بمعنى ان قمم السيقان والاوراق العلوية تحتوي بورون بدرجة أكبر من الاوراق المتوسطة أو السفلية أو الجذور . كما ان محتوى البذور والثمار يكون عادة أقل من الاوراق كما يتضح من الجدول (7-5) .

كما ان نتائج مشابهة قد توصل اليها (Syworotkin, 1958) لنبات الخشخاش (Opium poppy) .

إن المحتوى الاعتيادي لعدد كبير من النباتات هو بحدود 20 جزء بالمليون .

جدول (7-5) تركيز البورون بالاجزاء بالمليون في الاعضاء النباتية .
عن : (Mengel, 1968)

أجزاء النبات	البورون جزء بالمليون في المادة الجافة (ppm)
الاوراق العلوية	45.1
الاوراق المتوسطة	34.3
الازهار	21.2
الساق	17.3
الجذور	20.3
الثمار	21.0

(ب) وظائف عنصر البورون في النبات

بالرغم من الدراسات العديدة التي اجريت فيما يتعلق بهذا العنصر وأهميته للنبات الا ان الغموض فيما يتعلق بوظائفه الفسلجية مازال سائداً ولا تزال الصورة غير واضحة وتحتاج الى المزيد من الدراسة للكشف عن طبيعة وماهية تأثير هذا العنصر ويرتأي الباحثون ان للبورون دوراً فيما يلي : -

1) يشترك في عملية نقل السكريات حيث يميل للارتباط مع مجاميع الـ OH العائدة للمركبات العضوية مثل السكريات المتعددة وعليه فهو يشبه عناصر Si و Al و P حيث يكون معها استرات . إن الارتباط مع مجاميع الـ OH للمركبات العضوية يعمل على تثبيت بناء الاغشية السايتوبلازمية مما يزيد من نفاذيتها .

2) وبالرغم من أن البورون ليس جزءا من نظام الانزيم وانه لايقوم مثل عناصر Mg و Mn و Zn بربط الانزيم بالمادة المتفاعلة وانه لا يقوم بتغيير تكافئه مثل عناصر Fe و Zn و Mn و Cu و Mo (بمعنى عدم اشتراكه في عملية نقل الالكترونات) فقد تبين في السنوات الاخيرة بأن البورون ينشط بعض الانزيمات مثل Catalase و Proxidase وبعض Oxidases (مثل B-Fructofuranoxidase) و Amylase و Saccharase .

3) يفترض بأن له دوراً في تكوين البكتين واللكنين حيث ان 50% من البورون يوجد في الجدار الخلوي مثل الكالسيوم . ولقد وجد في حالة نقصه بأن

الخشب يكون طويلاً ورفيعاً وعدم تحول خلايا الكامبيوم الى الخشب او اللحاء . كما لوحظ في حالة نقصه حدوث تجمع الكربوهيدرات البسيطة وعدم تحولها الى السليلوز او اللكنين الضروري لتكوين الجدار الخلوي .

4) كما انه ضروري لانقسام الخلايا وانتاج حبوب اللقاح وعملية الاخصاب وهذا يوضح موت البرعم الطرفي كما في حالة نقص الكالسيوم للنباتات التي تعاني من نقص البورون .

5) اشارت الدراسات الى أهميته في عملية تكوين البروتين وذلك من خلال أهميته في تثبيت النتروجين الجوي حيوياً وكذلك من خلال تأثيره على عملية تكوين الحامض النووي (RNA) في هذه العملية .

6) تبين أن له دوراً في تكوين الهرمونات النباتية .

7) يعمل على زيادة المحتوى من فيتامين C وكذلك مجموعة فيتامين B المعقدة .

8) يرفع كفاءة النباتات في مقاومة كثير من الامراض الفطرية والفايروسية والحشرات لتأثيره في رفع قدرة النبات على تكوين الـ Leucoanthocyanin .

9) يشترك في عملية حفظ التوازن المائي لخلايا النبات والتي قد ترجع الى أهميته في رفع كفاءة النبات في امتصاص البوتاسيوم حيث لوحظ في حالة التغذية الجيدة بالبورون زيادة امتصاص النبات للبوتاسيوم بعدة مرات مقارنة بالنباتات التي كانت تعاني من النقص بعنصر البورون .

(جـ) اعراض نقص عنصر البورون

لا تختلف اعراض نقص البورون باختلاف انواع النباتات فحسب ولكنها تختلف ايضاً بتباين العضو النباتي ولكن بشكل عام يمكن اجمال ما يلي : —

1) تقزم النبات وموت البرعم الطرفي او نهايات الاغصان وتشوه الاوراق حيث تكون صغيرة ومجعدة وسميكة مع قصر السلاميات والتي تبدو منتفخة وممزقة وكذلك تمزق اعناق الاوراق مع قصرها كما في حالة العنب . وكذلك ضعف المجموع الجذري مع قلة عدد التفرعات الجانبية والتي تكون قصيرة وسميكة ذات نهاية منتفخة بنية اللون وقد تكون لزجة مخاطية كما في حالة الحمضيات . كما ان هناك صفة مميزة في حالة نقص البورون حيث يلاحظ حدوث تجمع لاوراق صغيرة الحجم ومشوهة ومتراكمة على بعضها على شكل خصلة مع تساقط الاوراق كلية اسفلها بحيث تبدو الافرع او الاغصان بشكل المكنسة ويطلق على هذه الظاهرة (Witch's broom) اي عصا العرافة او المكنسة السحرية . كما يلاحظ قلة عدد البذور والثمار اذا ما تكونت وتكون بالطبع صغيرة الحجم وعليها تشوهات تختلف حسب نوع الثمار . وسنتناول فيما يلي نبذة مختصرة عن أهم هذه التشوهات :

البنجر السكري يصاب بـ **Crown rot and brown heart disease**
وهو عبارة عن تعفن التاج ومرض القلب البني .

التفاح يصاب بـ **Internal and external cork**
حيث يسبب تراكيب فلينية بنية الشكل على الثار والتي قد تمتد الى داخل لحم الثار .

الرمان والبرتقال والطماطة
حدوث تمزق وتشقق الثار والتي قد تشمل لحم الثار نفسها .

القطن
تمزق قاعدة الجوزة وتساقط البذور منها علاوة على صغرها في الحجم وقلة عددها .

الذرة الصفراء
قلة عدد العرانيص وصغر حجمها علاوة على حدوث اعوجاج وانحناء فيها . ويظهر على العرنوص حبات كبيرة جداً وحبات صغيرة كما ان جزءاً من العرنوص يكون خالياً تماماً من الحبوب ويطلق على هذه الظاهرة الدجاجة وافراخها . Hen and chicken disease
ونفس هذا المرض يظهر بشكل واضح على العنب علاوة على خروج العصارة (نزيز العنب) .

الكرزات تصاب بـ **Hollow heart**
حيث تظهر مساحات فارغة في مركزها كما في الجوز وتدعى بالقلب الفارغ او القلب الخالي .

العرموط
تشوه الثار بشكل كبير حيث تبدو الثار وكأنها بيضاوية الشكل يظهر عليها انتفاخات وانخفاضات .

الكرفس والمعدنوس
القلب الاسود Black heart كما في حالة النقص بالكالسيوم وهنا يكون تحليل التربة والنبات امراً ضرورياً .

البطاطا
ظهور قشور وتمزق غلاف الدرنات .

البطاطا الحلوة
ظهور بقع سمراء وتراكيب فلينية .

القرنابيط
صغر حجم الزهرة وتلونها بلون بني ويمتد هذا اللون ليشمل سويق الزهرة نفسها وهذه الحالة غير موجودة عند النقص بعنصري الفسفور والمولبدنم .

الزيتون يصاب بـ **Monkey face**
ظاهرة وجه القرد حيث يكون الجزء العلوي من الثمرة غير متكون وتعطي الثمرة في هذه الحالة شكلاً يشبه وجه القرد .

الحمضيات
قلة عدد الثمار وصغر حجمها وعصارتها قليلة مع انخفاض نسبة السكر وزيادة الحموضة فيها .

عباد الشمس
قد لا يتكون القرص واذا ما تكون يكون صغير الحجم ومشوهاً مع قلة عدد البذور وصغر حجمها .

(د) علاج نقص البورون
تستخدم عادة مادة البوراكس (Borax) وهي عبارة عن بورات الصوديوم ($Na_2B_4O_7.10H_2O$) والتي تحتوي على 11.36%B كما يمكن استخدام حامض البوريك H_3BO_3 وهو حامض ضعيف جداً ولذلك فانه قد يستخدم قطرة للعين دون ان يسبب لها اي ضرر .
وبالنسبة لمعظم انواع الحاصيل يستخدم عادة من 2–4 كغم من مادة البوراكس للدونم . وهذه يمكن اضافتها للتربة او رشها على النباتات .

ومما يجدر الاشارة اليه ان البورون يعتبر من أشد العناصر الغذائية الصغرى خطورة في احداثه السمية على النباتات في حالة الانحراف حتى ولو كان طفيفاً عن التركيز المثالي للنبات ولذلك يجب التعامل معه بحذر ويفضل دائما استخدام محاليل

مخففة جداً منه وتكرار عملية الرش خشية من السمية التي قد يسببها على النباتات . وتحدث السمية غالباً في المناطق الجافة وشبه الجافة مثل تسمم اشجار اللوز في منطقة برج العرب في جمهورية مصر العربية .

5.2.7 ـ النحاس (Cu) Copper

(أ) فكرة عامة

يعتبر النحاس الى جانب عنصري الذهب والفضة من أقدم العناصر التي عرفها الانسان حيث استعملت منذ القدم كزينة وكذلك كعملات نقدية ولا تزال تستخدم كميداليات في النشاطات الرياضية كالالعاب الاولمبية وغيرها . ويشكل النحاس نسبة لاتزيد عن 0.0001% من قشرة الأرض . أما النحاس الكلي في الترب فيوجد بحدود 5–50 جزء بالمليون . أما النحاس الجاهز في محلول التربة فهو لا يزيد عن 0.01 جزء بالمليون . والنحاس المتواجد طبيعياً يوجد بشكل نقي تقريباً حيث تصل نقاوته حوالي 99.9% والذي يوجد على شكل السلفايد (Cu_2S) و (CuS) . غير ان اكثر مركبات النحاس شيوعاً هي كبريتات النحاس المائية $CuSO_4.5H_2O$ والتي تعرف بالحجر الازرق وقد استخدمت هذه المادة منذ القدم في مكافحة كثير من الامراض الفطرية حيث استخدمت مع الحجر الجيري كخليط والذي يعرف بخليط أو محلول بوردو (Bordeaux) كمضاد للفطريات في فرنسا بالقرب من مدينة بوردو منذ أكثر من مائة سنة .

ومما تجدر الاشارة اليه ان النحاس مقارنة بالكاتيونات الاخرى يمدص بقوة على سطوح التبادل كما ان ارتباطه مع المادة العضوية يكون بقوة كبيرة تفوق كاتيونات العناصر الصغرى كالمنغنيز والزنك .

ولقد وجد ان اكثر من 98% من نحاس التربة يكون على شكل مركبات عضوية وهذه تكون بطبيعة الحال غير جاهزة للنبات كما انها تقلل من تحرك النحاس الى الاسفل ولذلك نجده غالباً في الطبقة السطحية من التربة . وفي احدى الدراسات اضيف للتربة مقدار 18 كغم من $CuSO_4.5H_2O$ للدونم وبعد مرور خمس سنوات اخذت عينات من التربة وفحصت فوجد ان 17 كغم من كبريتات النحاس المضافة متواجدة في الطبقة السطحية العلوية وهذا يرجع الى ارتباط النحاس بقوة مع المادة العضوية وتقليل حركته الى اسفل .

يعتبر تفاعل التربة ومحتواها من المادة العضوية وكربونات الكالسيوم ورطوبة التربة ونوع الحاصيل المزروعة سابقاً في الدورة الزراعية ووجود الكبريتات التي تكون مع كبريتيد النحاس غير الذائب من أهم العوامل التي تؤثر على جاهزية النحاس في التربة . وفي الآونة الاخيرة برزت وبشكل خاص أهمية الاسمدة الفوسفاتية في تأثيرها على جاهزية العناصر الغذائية الصغرى والتي منها النحاس .

يمتص النبات النحاس في الصورة الثنائية التكافؤ Cu^{2+} كما في حالة عناصر Fe^{2+} و Mn^{2+} و Zn^{2+} الا انه يوجد في النبات بتراكيز اقل منها كثيراً وبصورة عامة تتراوح من 2 الى 20 جزء بالمليون في مادة النبات الجافة (عادة اقل من 10 جزء بالمليون) . وهذا يبلغ تقريباً عشر محتوى النبات من المنغنيز . والجذور تحتوي على الجزء الاعظم من النحاس مقارنة بالاجزاء النباتية الاخرى فعلى سبيل المثال في نبات الشوفان كان محتوى النحاس 7.9 و 2.4 و 2.8 جزء بالمليون في كل من الجذور والقش والحبوب على التوالي .

(ب) وظائف عنصر النحاس في النبات

1) أوضحت الدراسات ان حوالي 70% من النحاس الكلي في الاوراق يوجد في البلاستيدة الخضراء وهذا يوضح دوره في عملية التركيب الضوئي حيث ان الدراسات الحديثة (Bishop ,1966) و (Boardman ,1975) قد أيدت ماسبق وان اقترح من قبل (Arnon ,1950) بأن النحاس ضروري لعملية التركيب الضوئي حيث بينت الدراسات الحديثة دوره في عملية نقل الالكترونات من الماء الى $NADP^+$ فيما يسمى بتفاعل هل (Hill Reaction) وهو تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيمياوية . كما ان هناك دراسات تشير كذلك الى اشتراكه في عمليات الاكسدة والاختزال في سلسلة النقل الالكتروني (Electron Transport Chain) في التنفس الهوائي وفي التركيب الضوئي وهذا يعود الى دخول النحاس في تكوين الكلوروبلاست للبروتين بلاستوسيانين (Plastocyanin) . بالاضافة الى ان الانزيمات التي تحتوي على النحاس تساعد في التفاعلات التي تختزل جزيئة الاوكسجين . وتشمل هذه الانزيمات انزيم (Cytochrome Oxidase) بالاضافة الى عدد آخر من الانزيمات مثل (Ascorbic acid Oxidase) و (Tyrosinase) والذي يسمى ايضاً (Polyphenol Oxidase) .

إن اكسدة الفينولات وتحولها الى O-Quinone وتجمع الـ O-Quinone يعمل على رفع درجة عملية البلمرة Polymerization والتي يتم بواسطتها تكوين مركبات الميلانين (Melanin) ذات اللون القهوائي وهذه المركبات تتكون عند قطع ثمار الفاكهة كما في التفاح والعرموط او عند قطع البطاطا وتعرضها الى الهواء الجوي .

2) أوضحت الدراسات الحديثة اشتراك الانزيمات الحاوية على النحاس في تقليل التشبع (Desaturation) وتكوين الهيدروكسيل للحامض الدهني كما في حالة تقليل تشبع Stearic Acid وتكوين Oleid acid .

3) ثبت أهميته في عملية تكوين البروتين من خلال دوره في زيادة تثبيت النتروجين الجوي وكذلك من خلال رفع قدرة النبات على زيادة تكوين الاحماض النووية الـ DNA و RNA المهمة في عملية تكوين البروتين. وبالفعل لوحظ تجمع للامونيوم وكذلك انخفاض في مستويات الـ DNA في الاجزاء النباتية التي تعاني من نقص النحاس. كما ان النحاس ضروري في عملية اختزال النترات (Possingham, 1956) و (Ozolina, 1965 and Lapina).

4) يعمل النحاس على رفع كفاءة النبات لعملية التركيب الضوئي وذلك من خلال دوره في ثبات جزيئة الكلوروفيل وحمايتها من الهدم المبكر. كما ظهر ان العمليات الحيوية للكاربوهيدرات تتأثر في النبات الذي يعاني من نقص النحاس حيث تكون مستويات السكر المختزلة قليلة بينما يحدث تجمع للاحماض العضوية (Brown et al., 1958).

5) كما في حالة K ، Zn ، Mn ، B ، Mo يزيد من كفاءة النبات في تكوين فيتامين C.

(جـ) اعراض نقص النحاس

النباتات التي تحتوى على اقل من 4 جزء بالمليون في مادتها الجافة تكون عادة معرضة لاظهار اعراض نقص النحاس. تظهر اعراض نقص النحاس على الاوراق الحديث للنبات وتتميز اعراض نقصه في النجيليات بأن تكون حجم الاوراق بيضاء اللون والاوراق رفيعة ملتوية وقمتها معقوفة الى الاسفل. والنبات يكون متقزماً مع ظهور نموات كثيفة اسفل المنطقة الميتة والتي سرعان ما تموت ايضاً ويصبح شكل النبات كثيفاً كما في حالة نقص عنصري الكالسيوم والبورون وقد لا يحدث تكون للسنبلة واذا تكونت قد تكون فارغة او جزء منها فارغاً.

كما يسبب الموت التراجعي للاغصان او قمة الشجرة Dieback وفي الحمضيات يطلق على نقص النحاس مرض الاكزانثيا (Exanthema) وفي كاليفورنيا يطلق عليه (Ammoniation) او (Dieback). ويلاحظ أن الافرع تكون معوجة بشكل حرف S كما يلاحظ تكون جيوب صمغية ما بين القشرة والخشب حيث تبدو اباط البراعم منتفخة وكذلك ملاحظة الصمغ على جدع الشجرة من الخارج بوضوح. ويلاحظ كذلك تكون بقع صمغية على الثمار مع ظهور بقع سوداء على الثمار قد تمتد الى داخل الثمرة نفسها كما في حالة التفاح وهذه الحالة موجودة في الحمضيات بالطبع.

وقد تتمزق الثمار علاوة على زيادة سمك ثمار الحمضيات وقلة عصارتها.

كما قد يحدث انحناء لحواف الاوراق بشكل ملعقي او بشكل المسحاة مع حدوث ذبول للاوراق كما في نقص البوتاسيوم حيث تكون الاوراق متدلية للاسفل بشكل يشبه العلم المنكس .

وفي البصل تكون القشرة رفيعة جداً وصفراء شاحبة ولا تأخذ لونها الطبيعي الحمر وتكون البصلة طرية وعرضة للتلف في المخازن .

اما في الخيار فيلاحظ تقزم النبات وقصر السلاميات او عدم تكون الازهار والثمار كما في عباد الشمس او عدم تكون جذور الشلغم .

وكذلك يلاحظ حدوث موت موضعي مسود كما في ثمار العرموط او محمر وكذلك مسود كما في التفاح او اصفر مخضر كما في الخوخ والعنجاص .

(د) علاج نقص النحاس

تستخدم طريقة الرش بمحلول 0.05% من كبريتات النحاس او اضافة مقدار 0.25 الى 2.5 كغم نحاس لكل دونم وعادة تستخدم كبريتات النحاس .

وبالنسبة لمحاصيل الخضر او المحاصيل الحقلية ينصح باضافة 5-6 كغم نحاس لكل دونم (Murphy and Walsh 1972) .

إن الرش بمحاليل ذات تركيز اعلى من 0.2 الى 0.5% نحاس وكذلك في الترب الحامضية وخاصة ذات المحتوى العالي من المادة العضوية او اضافة المخلفات الحاوية على النحاس لهذه الترب بصورة مستمرة ويسبب المعدل القليل الذي يغسل من النحاس الى طبقات التربة العميقة كما ذكر سابقاً فانه يظهر على النباتات السمية بعنصر النحاس والتي تشبه غالباً اعراض نقص الحديد حيث يظهر اصفرار على حواف الاوراق والتي قد تتحول الى مناطق ميتة منخورة مع اشتداد اعراض السمية .

6.2.7 — المولبدنم Molybdenum (Mo)

(أ) فكرة عامة

يبلغ المحتوى الكلي للمولبدنم في معظم الترب الزراعية من 0.6 الى 3.5 جزء بالمليون (Swaine, 1955) وبمعدل 2 جزء بالمليون تقريبا . أما معدل المولبدنم الجاهز فيتراوح حوالي 0.2 جزء بالمليون (Cheng and Quellete, 1973) . يختلف محتوى الترب من المولبدنم طبقا لمادة الأصل التي نشأت منها تلك الترب .

كما قد يحدث انحناء لحواف الاوراق بشكل ملعقي او بشكل المسحاة مع حدوث ذبول للاوراق كما في نقص البوتاسيوم حيث تكون الاوراق متدلية للاسفل بشكل يشبه العلم المنكس .

وفي البصل تكون القشرة رفيعة جداً وصفراء شاحبة ولا تأخذ لونها الطبيعي المحمر وتكون البصلة طرية وعرضة للتلف في المخازن .

اما في الخيار فيلاحظ تقزم النبات وقصر السلاميات او عدم تكون الازهار والثمار كما في عباد الشمس او عدم تكون جذور الشلغم .

وكذلك يلاحظ حدوث موت موضعي مسود كما في ثمار العرموط او محمر وكذلك مسود كما في التفاح او اصفر مخضر كما في الخوخ والعنجاص .

(د) علاج نقص النحاس

تستخدم طريقة الرش بمحلول 0.05% من كبريتات النحاس او اضافة مقدار 0.25 الى 2.5 كغم نحاس لكل دونم وعادة تستخدم كبريتات النحاس .

وبالنسبة لمحاصيل الخضر او المحاصيل الحقلية ينصح باضافة 5-6 كغم نحاس لكل دونم (Murphy and Walsh 1972) .

إن الرش بمحاليل ذات تركيز اعلى من 0.2 الى 0.5% نحاس وكذلك في الترب الحامضية وخاصة ذات المحتوى العالي من المادة العضوية او اضافة المخلفات الحاوية على النحاس لهذه الترب بصورة مستمرة ويسبب المعدل القليل الذي يغسل من النحاس الى طبقات التربة العميقة كما ذكر سابقاً فانه يظهر على النباتات السمية بعنصر النحاس والتي تشبه غالباً اعراض نقص الحديد حيث يظهر اصفرار على حواف الاوراق والتي قد تتحول الى مناطق ميتة منخورة مع اشتداد اعراض السمية .

6.2.7 — المولبدنم Molybdenum (Mo)

(أ) فكرة عامة

يبلغ المحتوى الكلي للمولبدنم في معظم الترب الزراعية من 0.6 الى 3.5 جزء بالمليون (1955, Swaine) وبمعدل 2 جزء بالمليون تقريبا . أما معدل المولبدنم الجاهز فيتراوح حوالي 0.2 جزء بالمليون (1973, Cheng and Quellete) . يختلف محتوى الترب من المولبدنم طبقا لمادة الأصل التي نشأت منها تلك الترب .

فقد أورد (1967, Massumi) طبقا لما قام به من مسوحات لترب شمال ألمانيا بأن ترب المستنقعات كان محتواها من المولبدنم الذائب (على شكل أوكزالات) عاليا مقارنة بغيرها من الترب وأن الترب البدزول البيضاء أو الرملية هي الأقل كما يتضح مما يلي : ـ

ترب المستنقعات 0.17 — 14 جزء بالمليون
ترب البدزول الرمادية 0.1 — 0.5 جزء بالمليون
ترب تحتوي على نباتات متحللة 0.1 — 0.5 جزء بالمليون
ترب البدزول البيضاء 0.09 — 0.36 جزء بالمليون

يمتص المولبدنم على صورة أيون المولبدات MoO_4^{2-} وهو بهذا يختلف عن عناصر Fe^{2+}و Mn^{2+} و Cu^{2+} و Zn^{2+} التي تمتص في صورة الكاتيون الثنائي التكافؤ ولكنه يشبه البورون الذي يمتص في احدى صور البورات الأيونية (أكثرها قبولا هي صورة البورات BO_3^{3-} حيث أن معظم المراجع تشير الى امتصاص البورون على هذه الصورة) .

كما أن المولبدنم يشبه عنصري الفسفور والكبريت من حيث سلوكه في التربة حيث يمدص على سطوح غرويات التربة بطريقة مشابهة لكل من العنصرين (1970, Barrow) . غير أن عملية الامدصاص هذه تختلف عما هو عليه الحال بالنسبة لعنصري الفسفور والبورون حيث ان امدصاص المولبدنم يزداد بانخفاض الرقم الهيدروجيني (pH) (أي بزيادة الحموضة أو بزيادة تركيز أيونات الهيدروجين) ويقل الامدصاص بارتفاع الرقم الهيدروجيني وخاصة في الترب القاعدية وقد يعزى ذلك الى امكانية احلال أيونات الهيدروكسيل (OH) على سطوح التبادل محل أيون المولبدات . ولهذا ينصح غالبا لتحسين تغذية النباتات بالمولبدنم بتكليس التربة بمعنى اضافة الجير (اللايم Lime) (كربونات الكالسيوم) للتربة حيث يعمل ذلك على رفع تفاعل التربة وبالتالي زيادة أيون المولبدات في محلول التربة .

ويرى (1955, Walker et al.,) أن أنيونات الفوسفات يمكن أن تقوم بنفس الدور وعليه لوحظ تحسن تغذية بالنبات بالمولبدنم عند اضافة الأسمدة الفوسفاتية .

إن محتوى النبات من المولبدنم عادة قليل جدا ولا يتجاوز عن 1 جزء بالمليون في مادته الجافة . غير أننا نجد في بعض النباتات حدوث تجمع له في داخل النبات وبتراكيز عالية تزيد عن المائة ضعف ودون أن يسبب سمية للنبات . فقد ذكر أن تجهيز نبات القطن بكميات كبيرة زائدة عن حاجته قد أدت الى تجمع تراكيز عالية من المولبدنم وصلت الى 1500 جزء بالمليون في أوراقه ودون أن يظهر عليها أية أعراض للسمية بالمبدنم (1953, Joham) . ولوحظت نتائج مشابهة على نبات الفاصوليا . غير أن (1966, Johnson) لاحظ تكون لون أصفر ذهبي على أوراق الطماطة عندما وصل تركيز المولبدنم فيها من 1000 — 2000 جزء بالمليون وهذ يعني وقوع حالة السمية بالمولبدنم عند تجهيز النبات بتراكيز عالية جدا من العنصر . غير أن معظم المراجع تشير الى وجود تراكيز بحدود 0.1 الى 300 جزء بالمليون من المولبدنم في مادة النبات الجافة والتي تختلف حسب نوع النبات وكذلك حسب العضو النباتي . وقد أوضحت هذه الدراسات أن محتوى الجذور من المولبد هو عادة أعلى من محتوى السيقان أو الأوراق ، فلقد وجد أن محتوى جذور البرسيم الأحمر هو 53 جزء بالمليون في حين كان محتوى الأوراق 29 والسيقان 28 جزء بالمليون مولبدنم . وتوصل (1965, Berger) الى نتائج مماثلة في نبات الجت حيث كان محتوى الجذور والأوراق والسيقان هو 35 و 7 و 4.3 جزء بالمليون من المولبدنم على التوالي عندما نميت النباتات في بيئة تعاني من نقص المولبدنم .

ان محتوى العقد الجذرية من المولبدنم هو عادة أعلى من جذور النبات البقولي نفسه وهذا يرجع الى دور المولبدنم في عملية تثبيت النتروجين الجوي بواسطة النباتات البقولية .

(ب) وظائف عنصر المولبدنم في النبات

1) يعتبر عنصر المولبدنم مفتاح الأيض الحيوي لعنصر النتروجين حيث أن عملية أختزال النترات بداخل النبات الى أمونيا بواسطة أنزيمي nitrate reductase و nitrogenase تحتاج الى المولبدنم لنشاطها حيث يدخل عنصر المولبدنم في تكوينها كما أن عملية تثبيت النتروجين الجوي تعاني بواسطة النباتات البقولية تحتاج الى المولبدنم وبالطبع فان عبارة مفتاح الأيض الحيوي تنطبق على النباتات البقولية وكذلك في حالة تغذية النباتات سواء كانت نباتات بقولية أو نجيلية في حالة اضافة الأسمدة النتروجينية على هيئة نترات وامتصاص النبات للنتروجين بهذه الصورة فلكي يتم الاستفادة من النترات المضافة يجب أن تختزل النترات أولا الى أمونيا كما ذكر والتي ترتبط بعد ذلك مع الأحماض العضوية الكيتونية لتكوين الأحماض الأمينية ومن ثم دخولها في تكوين البروتينات .

إن محتوى النبات من المولبدنم عادة قليل جدا ولا يتجاوز عن 1 جزء بالمليون في مادته الجافة . غير أننا نجد في بعض النباتات حدوث تجمع له في داخل النبات وبتراكيز عالية تزيد عن المائة ضعف ودون أن يسبب سمية للنبات . فقد ذكر أن تجهيز نبات القطن بكميات كبيرة زائدة عن حاجته قد أدت الى تجمع تراكيز عالية من المولبدنم وصلت الى 1500 جزء بالمليون في أوراقه ودون أن يظهر عليها أية أعراض للسمية بالمبدنم (1953, Joham) . ولوحظت نتائج مشابهة على نبات الفاصوليا . غير أن (1966, Johnson) لاحظ تكون لون أصفر ذهبي على أوراق الطماطة عندما وصل تركيز المولبدنم فيها من 1000 — 2000 جزء بالمليون وهذا يعني وقوع حالة السمية بالمولبدنم عند تجهيز النبات بتراكيز عالية جدا من العنصر . غير أن معظم المراجع تشير الى وجود تراكيز بحدود 0.1 الى 300 جزء بالمليون من المولبدنم في مادة النبات الجافة والتي تختلف حسب نوع النبات وكذلك حسب العضو النباتي . وقد أوضحت هذه الدراسات أن محتوى الجذور من المولبدنم هو عادة أعلى من محتوى السيقان أو الأوراق ، فلقد وجد أن محتوى جذور البرسيم الأحمر هو 53 جزء بالمليون في حين كان محتوى الأوراق 29 والسيقان 28 جزء بالمليون مولبدنم . وتوصل (1965, Berger) الى نتائج مماثلة في نبات الجت حيث كان محتوى الجذور والأوراق والسيقان هو 35 و 7 و 4.3 جزء بالمليون من المولبدنم على التوالي عندما نميت النباتات في بيئة تعاني من نقص المولبدنم .

ان محتوى العقد الجذرية من المولبدنم هو عادة أعلى من جذور النبات البقولي نفسه وهذا يرجع الى دور المولبدنم في عملية تثبيت النتروجين الجوي بواسطة النباتات البقولية .

(ب) وظائف عنصر المولبدنم في النبات

1) يعتبر عنصر المولبدنم مفتاح الأيض الحيوي لعنصر النتروجين حيث أن عمليا أختزال النترات بداخل النبات الى أمونيا بواسطة أنزيمي nitrate reductase و nitrogenase تحتاج الى المولبدنم لنشاطها حيث يدخل عنصر المولبدنم في تكوينها كما أن عملية تثبيت النتروجين الجوي تعايش بواسطة النباتات البقولية تحتاج الى المولبدنم وبالطبع فان عبارة مفتا الأيض الحيوي تنطبق على النباتات البقولية وكذلك في حالة تغذي النباتات سواء كانت نباتات بقولية أو نجيلية في حالة اضافة الأسمد النتروجينية على هيئة نترات وامتصاص النبات للنتروجين بهذه الصور فلكي يتم الاستفادة من النترات المضافة يجب أن تختزل النترات أولا ا أمونيا كما ذكر والتي ترتبط بعد ذلك مع الأحماض العضوية الكيتوني لتكوين الأحماض الأمينية ومن ثم دخولها في تكوين البروتينات .

إن نقص المولبدنم في النبات يؤدي الى تجمع النترات الأمر الذي يسبب سمية في هذه النباتات حيث يظهر عليها الاصفرار ثم تنخر حواف الأوراق. إن زيادة مستوى النترات في نبات السبانخ تسبب سمية للانسان والحيوان وخاصة للصغار.

2) يعتبر ضرورياً لنشاط حامض النيكوتين والذي يلعب دوراً مهماً في تحولات الطاقة. كما ان المولبدنم ينشط انزيمي Peroxidase و Catalase.

3) يعمل المولبدنم على زيادة محتوى النباتات وخاصة الخضروات من فيتامين C. حيث لوحظ في حالة نقصه تجمع للنترات والتي تعمل على هدم فيتامين C مما يقلل محتوى الاوراق منه في حالة نقص المولبدنم.

ومما تجدر الاشارة اليه ان السمية بالمولبدنم في النباتات تجعل الحيوانات التي تتغذى على مثل هذه النباتات تعاني من النقص بعنصر النحاس وقد اطلق على ذلك مرض (Teart) والتي اشير اليها منذ اكثر من قرن في المراعي الانجليزية. ويصيب هذا المرض حيوانات المزرعة وخاصة الابقار ويتميز المرض باسهال شديد وفقدان في الوزن والى اختزال في كمية الحليب كما يحدث ترنح وهزال عام للحيوان حيث ان نقص النحاس يعمل على عدم كفاءة عنصر الحديد في تكوين هيموكلوبين الدم.

4) وهناك اشارات الى أهمية المولبدنم في تحويل الفسفور المعدني الى فسفور عضوي بداخل النبات وقد يعزى الى التأثير المفيد للمولبدنم في رفع كفاءة النبات للاستفادة من الاسمدة الفوسفاتية المضافة للتربة.

5) لقد دلت الابحاث ان هناك علاقة ايجابية بين تواجد المولبدنم ومقدار السكر لنبات البنجر السكري.

6) يعتقد أن له دوراً في زيادة انتاج جزيئة الكلوروفيل وبالتالي زيادة نشاط عملية التركيب الضوئي.

(جـ) اعراض نقص المولبدنم

تكون اعراض نقصه مشابهة لاعراض نقص النتروجين حيث تكون النباتات متقزمة مع ضعف واضح للمجموعة الجذرية كما تتعرض الاوراق للذبول كما في حالة نقص عنصر البوتاسيوم. إن ظاهرة الذيل السوطي (Whip tail) على اللهانة والقرنابيط من الاعراض المعروفة لنقص المولبدنم عليها، حيث تبدو الاوراق وكأن نصلها قد سقط مع بقاء العرق الوسطي فقط او اجزاء صغيرة من نصل الورقة تحيط فقط بالعرق الوسطي.

وفي حالة القرنابيط يلاحظ بالاضافة الى ذلك تلون الزهرة نفسها بلون بني الى ارجواني وتكون الزهرة مفتوحة غير مضغوطة .

وفي الحمضيات يظهر على الاوراق بقع صفراء غير منتظمة الشكل (Yellow Spot) حيث تكون البقعة عبارة عن هالة صفراء محاطة بمنطقة افتح منها وعند السطح السفلي للورقة يلاحظ تكون مادة لزجة ، ويلاحظ تساقط شديد للاوراق ، والبقعة الصفراء قد تظهر على الثمار ولكن لايعتمد عليها في عملية التشخيص .

وفي كثير من المحاصيل الخضرية يحدث انحناء لحواف الاوراق للاعلى بشكل يشبه الملعقة كما في حالة الحمضيات والتبغ ، وفي السبانغ تكون الاوراق كأسية . وفي الشعير تتلون السنابل بلون اخضر مزرق (Blue chaff) .

(د) علاج نقص المولبدنم

1) قد يكتفى لعلاج او لتلافي نقص هذا العنصر اضافة حوالي 1-2 طن من الحجر الجيري لكل دونم حيث يعمل ذلك على رفع الرقم الهيدروجيني للتربة وعليه فإن جاهزية المولبدنم تزداد كما ذكر .
2) بالنسبة لمحاصيل الخضر يضاف اما 0.4 غم Mo لكل م^2 أو ترش النباتات بما يعادل 200 غم من المولبدنم لكل دونم مع مراعاة بألاّ يزيد محلول الرش عن 0.1% من محلول مولبدات الصوديوم او مبولدات الامونيوم . وبالنسبة للعراق يفضل بالطبع ملح مولبدات الامونيوم لنفس الاسباب التي أشرنا اليها في حالة افضلية سماد كبريتات البوتاسيوم على سماد كلوريد البوتاسيوم حيث ان معظم الترب العراقية تعاني من مشكلة الملوحة وان كلاً من Na و Cl يعمل على زيادة الملوحة لذا نتحاشى اضافة الاسمدة المحتوية عليها .
3) بالنسبة للحمضيات تبين نجاح طريقة اذابة 5 غم من ملح مولبدات الامونيوم (والتي تحتوي على 54%Mo) في 100 لتر من الماء ورش الاشجار بهذا المحلول وهذه الكمية تكفي لرش 2-3 اشجار مثمرة .
4) كما وجد ان تعفير البذور بمقدار 25-50 غم من ملح مولبدات الامونيوم او مولبدات الصوديوم قبل زراعتها قد أعطت النباتات المناعة المطلوبة لتلافي ظهور نقص المولبدنم على النباتات . علماً أن هذه الكمية المستخدمة تكون كافية لزراعة 2-6 دونم بهذه البذور المعاملة كما في حالة الجت او البرسيم او النجيليات .

7.2.7 ـ الكلور Chlorine (Cl)

(أ) فكرة عامة

التأثير المفيد للكلور قد اشير اليه منذ اكثر من 120 عاما عندما اوضح العالم الالماني (Nobbe, 1865) بأن حنطة (Fagopyrum esculentum) لم تصل الى مرحلة النضج عندما لم يضف الكلور الى المحلول المغذي المستعمل في ري هذه الحنطة وبالرغم من ذلك ظلت الاراء متضاربة حول اهمية الكلور للنباتات وكان يعتقد غالباً بان الكاتيونات المرافقة للاملاح الحاوية على الكلور هي التي يكون لها التأثير المفيد وليس للكلور نفسه.

الا ان اهمية الكلور كعنصر غذائي للنباتات قد أقرت وبشكل نهائي نتيجة للدراسات الكثيرة والقيمة من قبل (Broyer et al, 1954) (Ulrich and Ohki, 1956), (Johnson et al., 1957) واخيراً (Broyer, 1966).

وقد واجه الباحثون صعوبات كثيرة واهمها استخدام هواء مرشح خالي تماماً من الكلور حيث ان النباتات تكون عرضة للتلوث بالكلور سواء من الوسط الغذائي او التهوية او حتى من البذور نفسها وبالرغم من ان تركيز الكلور في النباتات عالياً مقارنة بالعناصر الغذائية الصغرى وحتى مقارنة ببعض العناصر الغذائية الكبرى حيث يعبر عن محتوى الكلور في مادة النبات الجافة كنسبة مئوية كما في حالة العناصر الغذائية الكبرى الا انه لا يفهم لماذا يصنف الكلور ويوضع ضمن العناصر الغذائية الصغرى وهذا بلا شكل يتعارض مع مفهومنا للعناصر الغذائية الكبرى والصغرى.

وعموماً نادراً ما تعاني النباتات من نقص الكلور الا انه ليس غريباً او مستبعداً ان تظهر اعراض نقصه على النباتات المتواجدة في الترب الرملية والبعيدة عن البحر. كما يجب ان يلاحظ في المناطق القريبة من شواطيء البحار والمحيطات حدوث سمية الكلور المحمول كرذاذ على هيئة كلوريد الصوديوم مع الهواء الجوي ورش النباتات القريبة به وتلوثها وبصورة مستمرة حيث يلاحظ قلة جودة التبوغ.

وبصورة عامة تسبب السمية بالكلور حروق على حواف الاوراق ثم يتبع تبقع بني مع انحناء حواف وتساقط الاوراق في وقت مبكر. وقد يحدث موت تراجعي في البداية واخيراً قد يموت النبات بالكامل. اما السمية على اشجار الفاكهة النفضية والحمضيات فانها تظهر عندما يزيد محتوى اوراقها من الكلور عن 1-2% في مادتها الجافة ويسبب ذلك حروق على حواف اوراقها مع تساقط هذه الاوراق. وفي الحالات الشديدة يلاحظ موت افرع بكاملها.

وبشكل عام فإن استخدام مياه ري تحتوي على اكثر من 500 ملغم Cl/ لتر تعتبر ضارة . كما ان محتوى الهواء الجوي من الكلور اذا زاد عن 3 ملغم Cl_2/ م^3 قد يكون ضاراً بالنسبة للنجيليات .

(ب) تقسيم النباتات حسب حساسيتها للكلور : يمكن تقسيم النباتات حسب حساسيتها للكلور كالاتي :

1 ـ نباتات غير حساسة حيث تتحمل تراكيز عالية منه ، وتشمل الشعير والشوفان والذرة الصفراء والحنطة والكتان وانواع البنجر وانواع اللفت والقرنابيط والفجل والسبانغ والثوم .

2 ـ نباتات متوسطة الحساسية
وتشمل اشجار الفاكهة والعنب والحمضيات .

3 ـ نباتات حساسة
وتشمل الشليك (الفراولة) والبطاطا والقطن والطماطة والبقوليات والتبغ والبصل .

وبصورة عامة اذا احتوت التربة على تركيز اقل من 2 جزء بالمليون من الكلور فتعتبر فقيرة بهذا العنصر .

هذا وان المحتوى من 500-1000 جزء بالمليون من الكلور يعتبر منخفضاً لكثير من النباتات . غير انه ليس مستغرباً ان نجد نباتات قد تحتوى على اكثر من Cl %10

ان نقص الكلور يسبب ذبول عام للنبات ويبدأ الذبول اولاً على قمة الاوراق كما يحدث تحلل للكلورفيل ثم يعقبه تكون لون برونزي واخيراً تموت الاوراق وفي حالات نقص الكلور الشديدة فقد لا تستطيع النباتات من تكوين البذور او الثمار .

ويمتص الكلور من قبل النباتات على هيئة الانيون الأحادي التكافؤ (Cl^-) وعادة يمتص بكميات تفوق كثيرا حاجة النباتات منه لتأدية وظائفها الفسلجية ويستمر تراكمه في النبات حتى مرحلة النضج حيث يستمر امتصاصه وزيادة تركيزه بشكل مستمر . ان تحرك الكلور واعادة توزيعه بداخل النبات جيد بالرغم من ظهور اعراضه أولا على الاوراق الحديثة . هذا وتستطيع النباتات الحصول على الكلور ليس فقط من التربة ولكن عن طريق الهواء الجوي وتتفاوت النباتات كثيرا في ذلك فبينما نجد أن الذرة الصفراء والباقلاء والفاصوليا تأخذ الكلور من الهواء الجوي بدرجة جيدة نلاحظ ان نباتات الخضر تضعف قدرتها في ذلك كثيرا .

ان أوراق البنجر السكري التي احتوت على اقل من 100 الى 200 جزء بالمليون كلور في مادتها الجافة تعاني من نقص الكلور . كما أشار (1957, Stout) الى ان نباتات الطماطة المصابة بنقص شديد بالكلور تحتوي على 250 جزء بالمليون Cl في المادة الجافة لأوراقها . هذا وقد أشار (1973, Walsh and Beaton) إن عددا كبيرا من النباتات التي كان محتواها من الكلور بين 35-70 جزء بالمليون في مادتها الجافة كانت تعاني من نقص الكلور .

(جـ) وظائف عنصر الكلور في النبات

تشير معظم الدراسات الى ان الكلور لا يعمل كعنصر بنائي في اعضاء النبات ولكن تأثيره الفسلجي يرجع لانيون الكلور نفسه .

هذا ويقترح ان للكلور الوظائف الآتية :

1) يعمل كما في حالة النترات أو ايونات القلويات والقلويات الارضية على زيادة انتفاخ غشاء البلازما . وكما أشار (Schmalfuss) في الثلاثينات بأن الكلور يمكنه ان يعوض ايون النترات في وظائفه الكيموغروية وبهذه الكيفية فأن الكلور يؤثر في تغذية النباتات بالنتروجين تأثيرا ايجابيا وخاصة بالنسبة لنباتي البنجر السكري والسبانغ .

2) يلعب الكلور مع عنصر المنغنيز دورا مهما حيث يعملان معا على تحلل جزيئة الماء وخلق الالكترونات اللازمة في النظام الضوئي الكيمياوي لعملية التركيب الضوئي حيث تتحول الطاقة الضوئية في الـ (Hill reaction) الى طاقة كيمياوية .

3) يشترك في عملية تنظيم الجهد الازموزي لخلايا النبات ولذلك فان نقصه يسبب ذبول قمم أوراق النبات .

4) يظهر أن للكلور دورا في تنشيط انزيم Cytochrome Oxidase

5) وجدت زيادة تقدر بحوالي (10) أضعاف لنواتج عملية التركيب الضوئي في حالة التغذية الجيدة بالكلور (1977, Terry) .

6) تبين فائدته في رفع قدرة النبات في زيادة عملية انقسام خلايا الخشب وكذلك خلايا النسيج العادي ويرتأى (1977, Terry) ان هذا التأثير يعتبر أهم وظيفة على الاطلاق لعنصر الكلور في النباتات ، ومن هنا يتبين أهميته لقمم السيقان والجذور .

غير ان المستويات العالية من الكلور تمنع انتقال نواتج التمثيل وخاصة الى اعضاء التخزين . فقد لوحظ قلة المحتوى من السكريات في أوراق الطماطة والكرفس والعنب ، كما ان محتواها من فيتامين C كان منخفضا . وتم الحصول على

نتائج مشابهة حيث لوحظ انخفاض نسبة السكر في نبات البنجر السكري ونسبة النشا في البطاطا عند زيادة محتواها من الكلور .

لهذا السبب يفضل دائما بالنسبة لمثل هذه المحاصيل عدم التسميد بالاسمدة الحاوية على الكلور حيث يفضل مثلا للبطاطا والبنجر السكري سماد كبريتات الامونيوم أو كبريتات البوتاسيوم على كلوريد الامونيوم أو كلوريد البوتاسيوم حيث يقلل الكلور من انتقال السكريات أو الكربوهيدرات من اماكن تكوينها الى اماكن تخزينها .

ومما تجدر الاشارة اليه ان النباتات المغذاة بصورة جيدة بالكلور تكون حساسة للاصابة بالامراض الفايروسية .

3.7 ـ العناصر النافعة أو المفيدة (Beneficial elements)

وتشمل عناصر (Na, Co, Si, and V)

تعريـــف :
العنصر المفيد هو ذلك العنصر الذي لا يقع ضمن مجموعة العناصر الغذائية الكبرى أو الصغرى اي أنه لا يكون ضرورياً أو مهماً للنباتات ولكن يكون له تأثير نافع أو مفيد لبعض انواع النباتات أو لنبات معين ولا يوجد له تأثير ايجابي على النباتات الاخرى ، فعلى سبيل المثال فأن الصوديوم مفيد لنبات البنجر السكرى حيث يعمل على زيادة نسبة السكر فيه في حين أنه لا يعمل على زيادة الكربوهيدرات لنبات البطاطا فيقال أن الصوديوم مفيد لنبات البنجر السكري .

وبالمثل فأن عنصر الكوبلت مفيد للنباتات البقولية حيث أن الكوبلت يدخل في تكوين فيتامين B_{12} المهم في تكوين العقد البكتيرية على جذور النباتات البقولية وبالتالي ترتفع قدرتها على تثبيت النتروجين الجوي فيقال أن للكوبلت تأثير نافع على البقوليات في حين أن النجيليات التي ليس لها القدرة على تثبيت النتروجين الجوي لا يكون للكوبلت أي تأثير ايجابي بالنسبة لها . كما أن الدراسات قد بينت أن للسليكون تأثير مفيد لنبات الرز حيث أدى وجود السليكون في بيئة الرز الى زيادة الحاصل كماً ونوعاً حيث لوحظ زيادة واضحة في عدد السنابل بالعنقود ونسبة الحبوب الناضجة في حالة وجود السليكون مقارنة بعدم وجوده . وتعزي

الدراسات الحديثة ذلك الى زيادة قدرة النباتات لتحمل تراكيز عالية في المنغنيز الجاهز للامتصاص (Mn^{2+}) والذي يكون عالياً في بيئة الرز الغدقة اللاهوائية (Bergmann, 1983) وأجريت تجارب مماثلة على نباتات الشعير والطماطا والفجل والبصل الاخضر واللهانة من قبل (Okuda and Takashi, 1965) ولم يتبين اي تأثير مفيد للسليكون عليها . ولهذا فالسليكون عنصر مفيد لنبات الرز فقط . وسنتناول هذه العناصر وخاصة عناصر (Si, Co, Na) بشيء من التفصيل .

(أ) الصوديوم Sodium (Na)

الصوديوم سريع الذوبان في الماء ولذلك يكثر في مياه البحار والانهار والمحيطات . وهو يوجد بشكل متحد مكوناً املاح عديدة مثل كلوريد الصوديوم والبوراكس (Borax) والالبت (Albite) . ومن المركبات الاخرى المهمة له هي هيدروكسيد الصوديوم وكربونات الصوديوم وبيكربونات الصوديوم .

إن وجود الصوديوم في التربة بكميات كبيرة يعمل على تخريب بناء التربة حيث يعمل على تفريق حبيبات التربة كما أن التربة تكون لزجة ويصبح من الصعب العمل فيها .

وفي حالة وجود نقص بالصوديوم فأن اضافة 70-140 كغم من ملح نترات الصوديوم يكون كافياً لسد حاجة معظم النباتات ، وبصورة عامة فان محتوى الاوراق يكون عالياً مقارنة بمحتوى البذور . كما أن البقوليات تعتبر اغنى بالصوديوم من النجيليات . هذا ولا ينصح باستخدام مياه الري الحاوية على اكثر من 70 ملغم Na / لتر .

وبالرغم من تأكد معظم الباحثين بأهمية الصوديوم لعدد كبير من النباتات (بمعنى اعتباره عنصراً ضرورياً وليس على أساس انه مفيد للنبات) فقد وضع ضمن العناصر المفيدة طبقاً للتقسيم الذي أورده (Bergmann, 1983) .

إن للصوديوم وظائف عديدة يمكن تلخيصها فيما يلي :

1) يمكن له أن يعوض البوتاسيوم في بعض وظائفه وخاصة فيما يتعلق بدوره في تنظيم الجهد الازموزي لخلايا النبات .

2) يحمي البناتات من اضرار الصقيع خلال فترات الشتاء الباردة حيث يعمل على خفض درجة انجماد عصارة النبات .

3) يساعد بعض النباتات على تكوين اللون الجيد والطعم المرغوب فيه .

4) في ايام الجفاف يساعد الصوديوم النباتات في الحصول على احتياجاتها المائية حيث يقوم بجذب الماء من الهواء الجوي وكذلك بجذب الماء من اعماق التربة . كما أنه يعمل على حفظ التوازن المائي في محلول التربة وليس فقط في داخل النبات . أما زيادته كما في حالة الترب القلوية والتي تحتوي على اكثر من Na%15 من سعة التبادل الكاتيوني فتؤدي الى نتائج عكسية .

5) يعمل الصوديوم على زيادة جاهزية الفوسفات في الترب القاحلة حيث يزيد من تفتيت مركبات الفوسفات المعقدة غير القابلة للذوبان مثل صور الاباتيت وجعلها بصورة ذائبة جاهزة للامتصاص بواسطة جذور النباتات . غير أن زيادته قد تؤدي الى احداث نقص عناصر الـ Mg,Ca,K في النبات . كما يؤدي الى ذبول النبات وبالرغم من أن الصوديوم يصنف من قبل معظم الباحثين ضمن مجموعة العناصر الغذائية الصغرى لأن معظم النباتات تحتاجه بتركيز يقارب من 2.3 جزء بالمليون إلا أن النباتات الملحية أو المحبة للملوحة مثل **Atriplex Vesicaria** تحتاج الصوديوم بكثرة ولهذا يعتبر بالنسبة لها من ضمن مجموعة العناصر الغذائية الكبرى .

(ب) الكوبلت (Co) Cobalt

يوجد الكوبلت في معظم الصخور النارية وبتركيز يتراوح من ١ ــ عدة مئات جزء بالمليون ، اما في الترب فتبلغ مستوياته من ١ الى 40 جزء بالمليون بيد أن محتوى مادة النبات الجافة من الكوبلت يتراوح من 0.02 الى 0.5 جزء بالمليون .

يكون الكوبلت المتبادل مرتبطاً بقوة مع المعادن كما في حالة عنصر النحاس ولذلك فأن تركيزه في محلول التربة يكون واطئاً .

وكذلك فإن تركيز الكوبلت في الترب ذات الصرف الرديء أو الترب الغدقة يكون اعلى من الترب ذات الصرف الجيد . كما وجد أن وجود المنغنيز يقلل من تركيز الكوبلت الجاهز .

يميل الكوبلت لتكوين مركبات مخلبية ولهذا فانه قد يقلل من سمية العناصر الثقيلة الأخرى . التأثير السمي للكوبلت يشبه أعراض نقص المغنيسيوم ويشبه السمية بكل من الكلور والبورون حيث يظهر اصفرار على قمم وحواف الاوراق ومن ثم موت الأنسجة وبعد ذلك تتعرض الاوراق للذبول .

إن بعض النباتات تكون غير حساسة لزيادة الكوبلت مثل نبات (Nyssa sylvatica) Swamp black gum الذي ينمو في الجنوب الشرقي من الولايات المتحدة والذي يصل محتواه من الكوبلت الى ما يقرب من 1000 جزء بالمليون . وهذا النبات قد يستخدم كدليل نباتي فعند تحليل اوراق النبات ووجود تركيز اقل من 5 جزء بالمليون في مادتها الجافة فيدل ذلك على وجود نقص الكوبلت في هذه الترب .

كما اشرنا الى ذلك سابقا فان الكوبلت ضروري للنباتات البقولية حيث يدخل في تكوين فيتامين B_{12} المهم في تكوين العقد البكتيرية في جذور النباتات البقولية وبالتالي فهو ضروري لعملية تثبيت النتروجين الجوي حيويا .

يحصل نقص الكوبلت في الترب الرملية المعرضة لعملية الغسل وكذلك في الترب الحامضية النارية وايضا في الترب ذات المحتوى العالي من كربونات الكالسيوم أو ذات المحتوى العالي من المواد العضوية . كما أن تفاعل التربة يؤثر على جاهزية الكوبلت حيث يزداد نقصه كلما اتجهنا نحو القاعدية .

عند استخدام حامض الخليك في عملية أستخلاص الكوبلت الجاهز والحصول على تركيز أقل من 0.1 جزء بالمليون فيدل على وجود نقص الكوبلت في مثل هذه الترب وعادة يعالج نقص الكوبلت بأضافة احد املاحه بمعدل 0.25 الى 0.5 كغم / دونم . وفي حالة وجود معادن المنغنيز بكميات عالية فيجب اضافة كميات أعلى من الكميات السابقة وذلك لأن معادن المنغنيز تعمل على تقليل ذوبانية الكوبلت .

(جـ) السليكون Silicon (Si)

يأتي السليكون في المرتبة الثانية بعد الاوكسجين من حيث تواجده في القشرة الأرضية وتقدر نسبته بحوالي 27% بالوزن منها . يكون السليكون مع الماء واكاسيد الحديد والالومنيوم غرين التربة أو كتلة التربة الرئيسية . لذلك فهو يوجد في كل المعادن تقريبا . وتتوقف جاهزيته على تجوية هذه المعادن حيث يتحرر منها الى محلول التربة .

بصورة عامة يمكن القول أن الترب تحتوي على تراكيز عالية من السليكون الجاهز في محلول التربة وان زيادة محتوى الترب من الجير أو اضافته لها يقلل من السليكون الجاهز وبالتالي يقلل من امتصاصه من قبل النبات .

وبالرغم من المستويات العالية للسليكون في التربة فلا يوجد اي دليل على اعتباره عنصرا ضروريا لجميع النباتات وهو مفيد بالدرجة الاساس لنبات الرز كما ذكر سابقا . ان محتوى النباتات من السليكون يختلف كثيرا باختلاف انواع النباتات . فمحاصيل الحبوب والاعشاب تحتوي من 2 الى 20 ملغم Si / غم من وزن النبات الجاف بينما نباتات ذوات الفلقتين لاتحتوي الا على عشر هذه الكمية في حين نجد أن نبات الرز قد يصل محتواه الى 100 ملغم Si/ غم من مادته الجافة . كما ان الاجزاء القديمة من النبات تحتوي على تراكيز أعلى من السليكون من الاجزاء الحديثة .

ويمتص السليكون عند 9pH على هيئة $Si(OH)_4$ (monosilicic acid) (1965, Jones and Handreck,) . ومما تجدر الاشارة اليه ان توزيع السليكون في النبات يختلف كثيرا باختلاف الانواع النباتية . فقد اظهرت نباتات الطماطة والفجل واللهانة والتي تحتوي على تراكيز واطئة من السليكون توزيعا يكاد يكون متقاربا في كل من الاجزاء العليا والجذور ، وبينما يميل البرسيم لتجميع السليكون في جذوره حيث نجد أن حوالي 90% من السليكون في نبات الرز يتواجد في الاجزاء الهوائية العليا من النبات (1965, Okuda and Takahashi) .

تعتبر السليكا الهلامية (Silica gel) والموجودة على هيئة ($SiO_2.nH_2O$) هي الشكل السائد في النباتات وعندما تتصلب تصبح غير قابلة للحركة في النبات . وقد لوحظ في نبات الشوفان أن البشرة الخارجية للخلايا متثخنة بالسليكا وأن السليكا أحد مركبات جدران الخلايا . هذا ووجد (1962, Yoshida et al.) أن اوراق نبات الرز عند فحصها بالمجهر الالكتروني تحيوي على طبقة من السليكا متحدة مع السليلوز في خلايا بشرة الاوراق وهذه الطبقة تكون متداخلة مع طبقة اخرى من السليكا الموجودة تحت طبقة الكيوتيكل واشار هؤلاء الباحثون الى أهمية هذه الطبقة الثنائية في تقليل الفقد المائي من جهة والى جعل خلايا البشرة مقاومة لدخول الفطريات من ناحية اخرى . كما تبين ان النباتات من ذوات الفلقتين تفتقر الى مثل هذا التجمع من السليكا في بشرة أوراقها .

وفي حالة نقص السليكون في نبات الصفصاف لوحظ ذبول الأوراق ومع اشتداد النقص حصل ذبول للنبات جميعه وقد يرجع الى زيادة معدل عملية النتح . كما لوحظ موت الأنسجة والتي ترجع الى حدوث سمية بكل من الحديد والمنغنيز والتي عللت بأنها مرتبطة بنقص السليكون .

لقد أوضحت الدراسات بأن السليكون يميل لتكوين استرات مع هيدروكسيد المركبات العضوية كما في حالة الفسفور والبورون أي أن هناك احتمال اشتراك السليكون في عملية نقل الكربوهيدرات من أماكن تمثيلها في الأوراق الى حيث مايحتاج اليها النبات .

وطبقا لما جاء به (Ganssmann, 1962) بامكانية وجود تنافس بين أيونات السليكات والفوسفات حيث لاحظ انخفاض معدل امتصاص الفسفور عند اضافة الأملاح الحاوية على السليكون الى المحلول المغذي . وعلى العكس من ذلك فلقد لوحظ أن اضافة السليكات الى التربة قد أدت الى زيادة جاهزية الفسفور حيث يعتقد بأن السليكات قد حلت مكان الفوسفات المتبادلة مما أدى الى تحرر الفوسفات من سطوح الامدصاص مما أدى الى زيادة جاهزية الفسفور وبالتالي زيادة امتصاصه من قبل النباتات .

كما أشار (Ayres, 1966) الى ان اضافة الأسمدة الحاوية على السليكون قد أدت الى زيادة محتوى السكر والحاصل لنبات قصب السكر .

وعند نقص السليكون فبالاضافة الى حدوث ذبول الأوراق والنباتات نتيجة لزيادة عملية النتح فانه وجد انخفاض ملحوظ في الخلايا المرستيمية مع قلة التفرعات بالنسبة للنجيليات مع زيادة تعرضها لخطر الرقاد وزيادة شدة اصابتها بالفطريات . كما أن الأوراق الحديثة في نبات الطماطة تكون هشة سهلة الكسر مع اصفرار وتنخر الأوراق العلوية مع انخفاض شديد في الأزهار مع عقم حبوب اللقاح . والنمو يكون ضعيفا مع ضعف المجموعة الجذرية وذبول النبات . كما أن نقص السليكون في الخيار أدى الى قلة عدد الأزهار والثمار .

وبالرغم من تصنيف السليكون باعتباره عنصرا ضروريا بالنسبة لنبات الرز فانه قد تبينت فائدته لنباتات الذرة الصفراء واللوبيا والتبغ والخيار .

وبصفة عامة فان النباتات التي تظهر محتوى من 300 الى 800 جزء بالمليون من السليكون في أوراقها الجافة تكون عادة معرضة للاصابة بنقص السليكون .

(د) الفناديوم Vanadium (V)

يوجد الفناديوم في القشرة الأرضية بما يقرب من 0.03% بالوزن بينما يبلغ تركيزه في الترب بحدود 20-500 جزء بالمليون كفناديوم كلي وفي المتوسط بحدود 100 جزء بالمليون .

ولحصول النمو الملائم في النباتات يكفي عادة تركيز بحدود 0.002 جزء بالمليون من الفناديوم في مادة النباتات الجافة . ولوحظ حدوث سمية به في كل من البزاليا والباقلاء عندما وصل تركيزه فيها الى 2 جزء بالمليون . كما أشارت الدراسات الى ان التراكيز من 10-20 جزء بالمليون في التربة ومن 0.5-2.5 جزء بالمليون V في المحاليل المغذية تعتبر سامة بالنسبة للنباتات .

إن اضافة الحديد يقلل من السمية بالفناديوم ولوحظ أن السمية به تشبه نقص الحديد .

إن بعض النباتات المتأقلمة للفناديوم قد تحتوي على تركيز يفوق 10 جزء بالمليون V ، غير أن التركيز الاعتيادي لمعظم النباتات هو بحدود ١ جزء بالمليون V في مادة النبات الجافة .

هذا وقد أشار (1954, Hopkins) الى أن الفناديوم ينتشر انتشارا واسعا في الطبيعة بدرجة تفوق بعض العناصر المعروفة مثل النحاس والزنك أو الرصاص .

وهناك دلائل على امكانية تعويض الحديد بالفناديوم خاصة اذا ما كان نقص الحديد متسببا عن الزيادة في عنصر المنغنيز .

الى جانب كل من Mo و Co تبين أهميته في عملية تثبيت النتروجين الجوي بواسطة البكتيريا الحرة المعيشة بواسطة الـ **Clostridium** والـ **Azotobacter** كما اوضح (1942, Bertrand) فائدته بالنسبة للفطر **Aspergillus niger** في حين ذكر (1953, Arnon and Wessel) بان الفناديوم ضروري للاشنات الخضراء **Scenedesmus obliguus** . وبالنسبة للنباتات الراقية لا توجد أدلة كافية لأهميته . ومن الناحية العملية فإن نقصه أو السمية به لايوجد لها أية أهمية تذكر .

4.7 ـ العناصر النادرة الاخرى ذات التأثير السام

ان وجود العناصر النادرة والتي يطلق عليها ايضا بالعناصر الاثرية بتراكيز منخفضة جدا لاتتجاوز عادة الجزء من المليون قد يكون لها بعض الاثار الايجابية المفيدة على بعض الانواع من النباتات غير أن الميزة السائدة لهذه العناصر هي تأثيرها السام حتى ولو كانت تراكيزها في التربة أو النبات قليلة جدا . وان هذه التأثيرات السامة لاتكون ضارة للنباتات فقط ولكن تنعكس آثارها السلبية على

ولحصول النمو الملائم في النباتات يكفي عادة تركيز بحدود 0.002 جزء بالمليون من الفناديوم في مادة النباتات الجافة . ولوحظ حدوث سمية به في كل من البزاليا والباقلاء عندما وصل تركيزه فيها الى 2 جزء بالمليون . كما أشارت الدراسات الى ان التراكيز من 10-20 جزء بالمليون في التربة ومن 0.5-2.5 جزء بالمليون V في المحاليل المغذية تعتبر سامة بالنسبة للنباتات .

إن اضافة الحديد يقلل من السمية بالفناديوم ولوحظ أن السمية به تشبه نقص الحديد .

إن بعض النباتات المتأقلمة للفناديوم قد تحتوي على تركيز يفوق 10 جزء بالمليون V ، غير أن التركيز الاعتيادي لمعظم النباتات هو بحدود ١ جزء بالمليون V في مادة النبات الجافة .

هذا وقد أشار (1954, Hopkins) الى أن الفناديوم ينتشر انتشارا واسعا في الطبيعة بدرجة تفوق بعض العناصر المعروفة مثل النحاس والزنك أو الرصاص .

وهناك دلائل على امكانية تعويض الحديد بالفناديوم خاصة اذا ما كان نقص الحديد متسببا عن الزيادة في عنصر المنغنيز .

الى جانب كل من Mo و Co تبين أهميته في عملية تثبيت النتروجين الجوي بواسطة البكتيريا الحرة المعيشة بواسطة الـ **Clostridium** والـ **Azotobacter** كما اوضح (1942, Bertrand) فائدته بالنسبة للفطر **Aspergillus niger** في حين ذكر (1953, Arnon and Wessel) بان الفناديوم ضروري للاشنات الخضراء **Scenedesmus obliguus** . وبالنسبة للنباتات الراقية لا توجد أدلة كافية لأهميته . ومن الناحية العملية فإن نقصه أو السمية به لايوجد لها أية أهمية تذكر .

4.7 ـ العناصر النادرة الاخرى ذات التأثير السام

ان وجود العناصر النادرة والتي يطلق عليها ايضا بالعناصر الاثرية بتراكيز منخفضة جدا لاتتجاوز عادة الجزء من المليون قد يكون لها بعض الاثار الايجابية المفيدة على بعض الانواع من النباتات غير أن الميزة السائدة لهذه العناصر هي تأثيرها السام حتى ولو كانت تراكيزها في التربة أو النبات قليلة جدا . وان هذه التأثيرات السامة لاتكون ضارة للنباتات فقط ولكن تنعكس آثارها السلبية على

الحيوانات وكذلك على الانسان الذي يتغذى على مثل هذه النبات أو هذه الحيوانات .

وسنتناول فيما يلي أهم هذه العناصر باختصار وللمزيد من المعلومات ننصح القاريء الكريم الى الرجوع الى الكتب المشار اليها في نهاية الكتاب .

الألومنيوم Aluminum (Al)

يأتي الألومنيوم في المرتبة الثالثة بعد عنصري الاوكسجين والسليكون من حيث تواجده في القشرة الارضية فهو يشكل حوالي 15% بالوزن والذي يوجد في صورة Al_2O_3 . وهو يكون مع السليكون الجزء الرئيسي لصفائح المعادن الاولية والثانوية .

تحتوي مادة النبات الجافة حوالي 50-400 جزء بالمليون Al غير اننا قد نجد حيوداً وتذبذبا عن هذه الارقام قد تصل الى مئات المرات فعلى سبيل المثال قد يحتوى نبات الشاي من 2000-5000 جزء بالمليون من الالومنيوم في أوراقه الجافة مما جعل العالم (1955, Chenery) يعتقد بأن الالومنيوم ضروري لنبات الشاي .

ولقد لوحظ عند اضافة محاليل مغذية حاوية على تركيز جزء واحد بالمليون Al زيادة حاصل نباتي عباد الشمس والذرة الصفراء بمقدار يقارب من 20% من وزنها الجاف .

ان ظهور السمية بالالومنيوم قد تتخذ كدليل لانخفاض الـ pH عن 5 او 5.5 وتكون اعراض السمية به شبيهة بنقص عنصر الفسفور . وعادة يصاحب السمية بالالومنيوم وجود تراكيز عالية من Mn و Fe وتراكيز منخفضة من Mg و Ca ويذكر ان الالومنيوم الذائب في حدود 10-20 جزء بالمليون يعتبر ساما للنباتات . ويمكن تقليل السمية بالالومنيوم باضافة الجير حيث لوحظ عدم ظهور السمية به عندما ارتفع الـ pH عن 5.8 .

وتؤدي السمية بالالومنيوم الى اضعاف نمو النبات ويظهر عليه لون اخضر داكن مع ظهور لون ارجواني على السيقان والسمية به يكون لها تأثيرات سيئة بالدرجة الاساس على الجذور قبل ان تظهر على الاجزاء الهوائية من النبات حيث يؤثر على الجزء الفعال في عملية الامتصاص ومنها تمزق القمة النامية للجذور وتكون

سوداء اللون مع اعاقة الجذور من التعمق في التربة مع ملاحظة قلة عدد التفرعات الجانبية وباستثناء قمة الجذر السوداء فيكون لون الجذر بنيا . واوضحت الدراسات ان السمية بالالومنيوم تؤثر سلبيا على تكوين الـ ATP وكذلك على تكوين الحامض النووي DNA وعملية الانقسام (Mitosis) وبالتالي فهو يؤثر على نشاط انقسام الخلايا . كما ان ارتباط الالومنيوم مع البكتين أدى الى ضعف مرونة ومطاطية جدران الخلايا .

كما تبين ان زيادة Al ادت الى انخفاض محتوى الاجزاء الهوائية من الفسفور حيث يعتقد حصول ترسيب للفسفور على شكل فوسفات الالومنيوم سواء في التربة او في داخل انسجة النبات نفسها في حين أن السمية بالـ Mn لم يكن لها أي تأثير على محتوى الأجزاء الهوائية من الفسفور .

كما أشارت الدراسات الى انخفاض السمية بالالومنيوم كثيرا عند اضافة الاسمدة الفوسفاتية بسبب ترسيبها للالومنيوم . هذا ويرتأي العديد من الباحثين بأن السمية بالالومنيوم والنقص بالفسفور صنوان لايفترقان ولهذا السبب فعند حدوث نقص الفسفور يجب التأكد من وجود سمية بالالومنيوم أم لا والعكس صحيح تماما فعند حدوث سمية بالالومنيوم يجب فحص محتوى النبات من الفسفور للتأكد من نقص بالفسفور أو عدمه .

وان اختلاف النباتات في قدرتها لتحمل تراكيز مختلفة من Al يرجع الى طبيعة هذه النباتات في قدرتها أو عدم قدرتها على تغيير الرقم الهيدروجيني حول المنطقة المحيطة بمجموعتها الجذرية وعلى هذا الاساس فتعتبر النباتات البقولية أكثر حساسية من النجيليات لقدرتها على إفراز أيونات الهيدروجين أكثر من النجيليات حول جذورها وبالتالي فهي تعمل على خفض الـ pH وتزيد من جاهزية الـ Al والذي يمتص بدرجة أكثر بواسطة البقوليات والذي يسبب لها السمية بطبيعة الحال بدرجة أشد عما هو عليه الحال بالنسبة للنجيليات مثل الشعير او الحنطة .

كما إن اضافة الاسمدة النتروجينية أو البوتاسية الحاوية على صورة الامونيوم تكون خطورتها أشد في احداث السمية نظرا لتأثيرها الفسيولوجي الحامضي من الاسمدة الحاوية على النترات ذات التأثير الفسيولوجي القاعدي .

السلينيوم **Selenium (Se)**

يوجد في محلول التربة بتركيز منخفض عادة اقل من 0.2 جزء بالمليون أما في الترب فيتراوح تركيزه من 5–80 بالمليون كسلينيوم كلي .

تزداد جاهزيته بارتفاع الـ pH كما في حالة عنصر المولبدنم ولذلك تظهر السمية به عادة في المناطق الجافة وشبه الجافة خصوصا في الترب القلوية أو القاعدية ذات المحتوى العالي من كربونات الكالسيوم ذات التهوية الجيدة . وهو يمتص على صورة أيون السلينات SeO_4^{2-} وبالتالي فهو يشبه أيون الكبريتات .

إن التراكيز المنخفضة منه يكون لها تأثير تحفيزي في النبات . غير انه سام للنبات وقد يصل تركيزه في مادته الجافة الى أكثر من 1500 جزء بالمليون . ويعود التأثير السام للسلينيوم الى منافسته للكبريت (1969, Shrift) .

إن اشتراك السلينيوم في تكوين البروتين يسبب خللا للنبات . ولذلك فإن النباتات التي تستطيع ان تجمع السلينيوم وتتحمل تراكيز عالية منه تعمل على عدم دخول السلينيوم في تكوين بروتينها .

لقد وجد أن نباتات العائلة الصليبية مثل اللهانة والقرنابيط قد امتصت ثمانية اضعاف ما امتصته النجيليات مثل الحنطة والشعير من السلينيوم . كما أن البصل قام بتجميع كميات كبيرة منه • كما بينت الدراسات على أن بعض نباتات العائلة البقولية مثل milk vetches تستطيع أن تجمع تراكيز عالية من السلينيوم دون أن يكون له أي تأثير سلبي عليها وقد يصل تركيز السلينيوم فيها الى عدة آلاف الجزء من المليون (1966, Ganje) . كما ان نقص السلينيوم في الحيوانات يسبب مرض يدعى White muscle disease حيث يسبب خللا في نمو عضلاتها ويسبب هذا المرض فقد الشعر أو الفراء للحيوانات . أما السمية بالسلينيوم فتسبب مرض يطلق عليه Alkali disease وهذه التسمية قد تسبب التباس حيث لايقصد به مرض القلوية الناتج عن زيادة القلويات أو القلويات الارضية ولكن ارتفاع الـ pH في الترب القلوية او القاعدية تعمل على زيادة جاهزية السلينيوم بحيث تصبح مستوياته سامة في النبات اما في الحيوانات فيتميز المرض بعدم تكون الاسنان او الاظلاف او الحوافر بالاضافة الى امكانية تساقط الشعر او الفراء . ولتلافي السمية به يجب عدم زيادة تراكيزه في الاعلاف بحيث لاتزيد عن 0.1-1 جزء بالمليون Se حيث لوحظ انه سبب سمية للحيوانات عندما كان تركيزه في الاعلاف بحدود 5 جزء بالمليون .

كما ان السمية ظهرت على الانسان عندما تغذى على نباتات زاد فيها تر
السلينيوم عن 3 جزء بالمليون وهذا يعنى أنه باستطاعة الانسان أن يتحمل مة
ملغم من السلينيوم في غذائه يوميا ودون أن يسبب ذلك للانسان اية اعر
سامة وخاصة عند البالغين. كما ينصح بعدم استخدام مركبات السلينيوم
مبيدات حشرات المخازن.

الرصاص Lead (Pb)

تتراوح تراكيز الرصاص في الترب الزراعية من 2-200 جزء بالمليون ولـ
قد تصل أحيانا الى اكثر من 3000 جزء بالمليون في المناطق المعرضة للتلوث
وهو عادة يمسك على الطبقة العليا ولا ينزل للاعماق الا لعدة انجات فقط. كما
تركيزه في النبات عادة قليل ويتراوح من 2-7 جزء بالمليون في مادة النبات الـ
ولكن ليس من المستبعد ان نحصل أحيانا على تراكيز تفوق ذلك بعشر مرات.

وفي الحمضيات يمكن الحصول على تراكيز من 0.5-4 جزء بالمليون في
الاوراق الحديثة الجافة أما في الاوراق القديمة فقد نحصل على 10 جزء بالمـ
رصاص في مادتها الجافة.

ان احتراق البنزين يعتبر المصدر الرئيسي للتلوث بالرصاص حيث يساهم
المصدر بحوالي 80% من مصادر التلوث بالرصاص حيث يضاف الرصاص بمـ
0.02-0.08% بالحجم في صورة Tetraethyl Lead عند تكرير البترول و
الرصاص مع الغازات والدخان على شكل مركبات غير عضوية وان مايقرب
50% من هذه المركبات الحاوية على الرصاص يسقط على بعد حوالي 100 متر
مكان استعمال البنزين والباقي ينتشر في الهواء الجوي.

وفي احدى الدراسات وجد (Day et al., 1975) مايقرب من 1000
بالمليون Pb في غبار الشوارع القريبة من المدينة الصناعية لمانشستر.

وفي الشوارع المزدحمة فلكل كيلومتر (على اساس 3000 سيارة) يمكن خـ
مايعادل 50-90 غم pH مع العادم الى الهواء الجوي. وفي دراسة اخرى
افتراض 10000 سيارة في اليوم يمكن توقع حدوث تلوث بالهواء الجوي لكل
بمقدار 3 جزء بالمليون Pb وعلى بعد 50 مترا من الطريق.

كما أن المصانع واحتراق الفحم تعتبران مصدرا آخر للتلوث بالرصاص.

وفي المانيا يعتبر الحد الحرج والمسموح به هو 0.7 ميكروغرام Pb / م^3 من الهواء الجوي . والنباتات القريبة من الشوارع وجد فيها أرقام تفوق كثيرا الحد الذي يسبب سمية لهذه النباتات بحدود 20-100 جزء بالمليون Pb في المادة الجافة .

ان استخدام مخلفات المدن تعتبر مصدرا آخر للتلوث بالرصاص . كما يحدث تسمم للانسان عن طريق مياه الشرب عند استعمال أنابيب حاوية على الرصاص . ومما تجدر الاشارة اليه أن العاملين في المناطق القريبة من محطات تعبئة البنزين أو العاملين بأنفسهم في المحطات وكذلك الاهالي القريبين منها قد لوحظ زيادة نسبة الرصاص في دمهم .

وعموما يظهر التأثير الضار للرصاص على النباتات عندما يزداد تركيزه في التربة عن 2000 جزء بالمليون وفي النبات عن 5 جزء بالمليون Pb

كما وجد (1977, Judel and Stelte) حدوث سمية لنبات السبانغ بالرصاص عندما وصل تركيزه 100 جزء بالمليون في مادته الجافة . هذا ويقترح (Brewer 1966,) ان التركيز السمي لعدد من النباتات يكون بحدود 10-30 جزء بالمليون Pb في مادتها الجافة .

ولحسن الحظ فإن غسل النبات بالماء يزيل أكثر من 70% مما هو عالق به من الرصاص . كما ان ازالة الاوراق الخارجية للمحاصيل الورقية وكذلك تقشير ثمار الفاكهة تؤدي الى تلاشي الجزء الاعظم من الرصاص وازالة خطره على الانسان الناجم عن تجمع الرصاص في جدار الخلية وترسيبه . كما تبين انه من النادر حدوث تلوث لدرنات البطاطة او اللفت او الجزر او البنجر لصعوبة نزول الرصاص الى طبقات التربة السفلية حيث يمسك ويترسب فقط على الطبقة السطحية من التربة . كما ان ترسبه في الجدار يقلل تأثيره السمي على النبات .

الكادميوم Cadmium (Cd)

يشبه الكادميوم الزنك من حيث صفاته الكيمياوية الا أن تأثيره السمي يكون اشد ضررا من تأثير الزنك وذلك لميله للارتباط بمجموعة Thiol (SH) في كل من البروتينات والانزيمات مما يعرقل عملها في داخل النبات . يقدر المحتوى الاعتيادي للكادميوم في النباتات بحدود 0.1-1 جزء بالمليون Cd في المادة الجافة . وعندما

يصل تركيزه من 1.5-3 جزء بالمليون تبين انه يسبب سمية على النباتات الا ليس غريبا ان تجد تراكيز اعلى من ذلك بكثير حيث ظهرت السمية على البنـ السكري عندما وصل تركيزه من 100-300 جزء بالمليون في الاوراق محسوبة اساس الوزن الجاف والباقلاء والطماطة عندما زاد التركيز عن 50 جزء بالمليو بينما في نبات الخردل ظهرت السمية بالكادميوم عندما وصل تركيزه فيها الى جزء بالمليون .

إن الاصفرار الناتج عن السمية بالكادميوم قد يسبب التباسا في عـ التشخيص حيث انه يشبه الاصفرار المتسبب عن النقص بعناصر Mg وMn و وعموما يمكن اجمال مصادر التلوث بالكادميوم بما يلي : —

1) خامات الزنك تعتبر اهم مصادر التلوث بالكادميوم
2) مخلفات المدن حيث قد تحتوي على تراكيز قد تصل الى اكثر من 1500 بالمليون كادميوم .
3) إن الغبار والاتربة القريبة من طرق المواصلات تعتبر مصدرا جيدا للتـ بهذا العنصر حيث أن الدهون المحترقة والضغط المستمر على مو الاطارات تؤدي الى زيادة المحتوى بالكادميوم .

إن تحرك الكادميوم في النبات بطيء جدا ويكاد يكون معدوما ولذلك يبقى عادة في الجذور على أسطح التبادل ويمكن أن يحل مكانه على هذه الا كل من الـ Mn و Zn و Ca . وحيث ان أيون الكالسيوم هو السائد غالبا يحل مكانه وبالتالي فإنه يساهم في تخليص النبات من السمية بالكادميوم . كما ان اضافة الفسفور ولميله لتكوين مركبات معقدة مع الكادميوم كما هو ا في الـ(Mn, Zn, Cu, Fe) فإنها تقلل من خطر السمية بالكادميوم .

والتأثير السام ظهر على الانسان عندما زاد تركيز الكادميوم في النباتات يتغذى عليها عن 3 جزء بالمليون .

أما السمية بالكادميوم فتؤدي الى اضعاف النمو مع حدوث اصفرار تكون مصحوبة بحدوث تنخر موضعي على الاوراق الحديثة وأيضاً على الا القديمة وفيما بعد يحدث ذبول للاوراق والسمية على نبات الطماطة سببت الـ الاجباري للثمار الامر الذي أدى الى صغر حجمها .

كما أن السمية بالكادميوم أدت الى اظهار نقص الحديد في الاجزاء الحـ حيث عرقلت انتقال الحديد من الجذور الى الاوراق .

الزئبق (Hg) Mercury or Quicksilver

تعتبر الغازات المتطايرة من مصانع السليلوز وكذلك الغازات المتطايرة من البراكين أهم المصادر في تلوث البيئة بعنصر الزئبق . غيّر ان استخدامه كمبيد قد يشكل مصدر خطر على الحيوان أو الانسان . هذا وقد أعتمدت المستويات التالية على أنها طبيعية ولا تشكل أي خطر على النبات او الحيوان

0.01 ميكروغرام Hg / م^3 من الهواء الجوي

20 ميكروغرام Hg / م^3 من الهواء الجوي بالقرب من البراكين

0.04 جزء بالمليون Hg في المادة الجافة للنبات .

غير أننا قد نحصل على 20 ملغم Hg / م^3 من الهواء الجوي بالقرب من المصانع . وقد أوضحت الدراسات أن حوالي 3% من الزئبق المكتسب صناعياً يتطاير أثناء الحصول عليه كأبخرة الى الهواء الجوي مما يؤدي الى رفع مستوياته بالقرب من المصانع . كما وجد في تجارب البيوت الزجاجية ان استخدام تركيز 50 جزء بالمليون في المحاليل المغذية من الزئبق قد أدت الى اضعاف النمو . كما تبين زيادة التركيز عن 1000 جزء بالمليون Hg في الترب قد سببت السمية في النباتات .

وتكاد تنحصر السمية بالزئبق في تأثيرها الضار على الجذور حيث تضعف قدرة النبات في امتصاص العناصر الغذائية الاخرى . ونظراً لتجمعه وتراكمه وعدم انتقاله من الجذور الى الاجزاء الهوائية فانه لا يوجد خوف على الانسان أو الحيوان عند تغذيتها على هذه الاجزاء الهوائية من النباتات .

ولكن بالقرب من مصانع استخراج الزئبق او البراكين وكما سبق ان آشرنا الى امكانية زيادة تركيزه في الهواء الجوي فانه يجب عدم زراعة الحاصيل التي تستغل منها الجذور أو الدرنات بسبب تجمع الزئبق فيها بتراكيز قد تكون ضارة على الانسان او الحيوان أو على الأقل يجب فحصها مختبرياً للتأكد من سلامتها قبل تناولها أو تغذية الحيوانات بها .

هذا وقد سجلت الارقام الآتية في الترب :

الولايات المتحدة من 0.1-0.33 جزء بالمليون Hg بالقرب من المصانع والمطارات .

اليابان من 0.2-0.7 بالمليون Hg بالقرب من المدن الصناعية ،

ومن 1-468 جزء بالمليون Hg بالقرب من مصانع استخراج الزئبق

النرويج من 0.07-0.37 جزء بالمليون Hg في ترب الغابات

النمسا من 0.005-0-34 جزء بالمليون Hg

الزرنيخ (As) Arsenic

يوجد في التربة بحدود 0.1-500 جزء بالمليون As غير أن معظم الترب تحتوي كمعدل على ما يقرب من 10 جزء بالمليون As .

ولا توجد له أية أهمية للنبات بل هو يشبه الرصاص حيث يعتبر ساماً حتى ولو وجد بتراكيز قليلة جداً في مادة النبات الجافة .

والسمية بالزرنيخ تتوقف على نوع التربة حيث يحدث له تجمع في الترب الطينيه او تلك المحتوية على كميات كبيرة نسبياً من الطين في حين انه يغسل وبشدة في الترب الرملية الخفيفة .

وعادة تموت النباتات وبسرعة وقبل ان يصل تركيز الزرنيخ فيها الى مستويات عالية ولذلك فلا داعي للقلق على صحة الانسان او الحيوان .

اليود (I) Iodine

عند وجود اليود في النبات بتركيز قليل يكون له تأثير تحفيزي ، غير ان التركيز العالي منه يكون له تأثير سلبي وسام على النبات .

والتأثير التحفيزي لليود يحصل بتركيز حوالي 0.1 جزء بالمليون I في حين أن التركيز 0.5-1 جزء بالمليون يكون له تأثير سام . ويعتبر التركيز من 0.2-0.4 جزء بالمليون تركيزاً معتدلاً . غير أننا نجد بعض النباتات قد يصل تركيز اليود في مادتها الجافة الى اكثر من 5 جزء بالمليون .

إن اضافة المواد العضوية تعمل على زيادة جاهزية اليود حيث تقوم بتحريره من مركباته المعقدة ، كما أن الاعشاب البحرية وفضلات الطيور تعتبر غنية باليود . إن نبات العشب البحري المسمى (Kelp) يعتبر غنياً باليود ويمكن استخدامه للحصول على اليود منه حيث يمكن استخراج ما يعادل من 6-10 كغم I / طن من هذا العشب .

ويظهر التأثير السمي لليود في البداية على قمة وحواف الأوراق القديمة حيث يظهر موت موضعي منها ويصحب ذلك تساقط الاوراق ومع اشتداد اعراض السمية يموت النبات بكامله .

يعتبر اليود ضرورياً للانسان لعلاقته بهرمون الثيروكسين Tyroxine والمهم في علاج تضخم الغدة الدرقية Goiter وهذا الهرمون يحتوي على 65%I .

وعموماً يعتبر التركيز 0.12 جزء بالمليون I كافي لسد احتياجات الحيوانات المجترة . أما في حالات الحمل فانها تحتاج الى ما يقرب من 0.8 جزء بالمليون I .

هذا وتستهلك الحيوانات التي تتراوح أوزانها 60 كغم ما يعادل 2-0.02 ملغم I والابقار التي وزنها 600 كغم تستهلك من 3-30 ملغم يود يومياً .

يعتبر زيت كبد الحوت ولحم الاسماك غنية باليود فهي تحتوي على كمية تتراوح من 0.260-0.623 و 0.910-1.650 ملغم I / غم على التوالي . ولهذا السبب فان سكان المناطق القريبة من شواطيء البحار والمحيطات أو ضفاف الانهار نادراً ما يعانون من مرض تضخم الغدة الدرقية بينما نجد الناس الذي لا يتناولون الاسماك أو مشتقاتها هم اكثر الناس عرضة للاصابة بتضخم الغدة الدرقية .

البروم (Br) Bromide

تأثيره السمي أقل من اليود . ويتواجد في التربة بتراكيز منخفضة جداً ولهذا السبب فان السمية به من الناحية العملية غير واردة الا ان استعمال المواد المعقمة للترب مثل بروميد الميثيل قد أدت الى اظهار السمية به على بعض النباتات الحساسة لـه مثـل البطاطة والسبانغ والبنجر السكري كمـا أشـار الى ذلك (Martin, 1966) .

تعتبر نباتات الجزر والتبغ والطماطة من النباتات المتأقلمة حيث يمكنها أن تجمع تراكيز عالية منه قد تصل الى أكثر من 2000 جزء بالمليون Br في مادتها الجافة ودون أن يسبب ذلك لها أية آثار سلبية ضارة . إن المستويات الاعتيادية للبروم في النباتات تتراوح من صفر – 260 جزء بالمليون Br في مادتها الجافة .

وهناك رأي على ان البروم يمكن ان يحل جزئياً محل الكلور . والسمية بالبروم شبيهة بالاعراض المتسببة عن زيادة الاملاح حيث يصبح لون الاوراق مصفراً والذي يتبعه عادة موت موضعي للانسجة والذي يظهر عادة على قمة وحواف الاوراق . وعملية انبات البذور تكون محدودة ومعاقة بشكل كبير .

الفلور (F) Fluorine

إن المحتوى الاعتيادي للنباتات من الفلور هو بحدود 3-30 جزء بالمليون في مادتها الجافة . ولكن بالقرب من مصانع الفوسفات والالومنيوم فإننا قد نحصل على تراكيز قد تصل الى أكثر من 1000-1300 جزء بالمليون F في مادة النبات الجافة . وقد لوحظ ان نبات الجت المزروع على بعد 2 كم فقط من هذه المصانع قد انخفض الرقم السابق الى ما يقرب من 200-300 جزء بالمليون F .

إن صخر الفوسفات الخام مثل الفلور أباتيت قد يحتوي على 3-4٪ F وهذا يتطاير الى الهواء الجوي على شكل سليكات الفلور مع رطوبة الهواء الجوي تكون حامض الهيدروفلوريك HF الذي يعتبر ساماً للاجزاء الهوائية من النباتات . وتفوق السمية بهذا الحامض السمية الناتجة عن SO_2 بآلاف المرات . إن نبات الجت والشاي تعتبر من النباتات الجمعة للفلور حيث تقوم بترسيبه بشكل غير جاهز للنباتات ولذلك فانها تتحمل تراكيز عالية منه . لذا ينصح بزراعتها بالقرب من هذه المصانع لتنقية وتخليص البيئة من السمية الخطيرة للفلور .

وفي احدى الدراسات تبين ان الشاي يحتوي على تركيز مقداره 60 جزء بالمليون من الفلور .

إن السمية بالفلور أدت الى اسوداد وحروق الاوراق والتي تبدأ عليها كشريط رفيع على قمة وحواف الاوراق ثم تمتد الى وسط نصل الورقة وفي الحالات الشديدة قد يشمل الورقة بكاملها مع بقاء منطقة ضيقة خضراء تحيط بالعرق الوسطي للورقة . كما يحدث انحناء حواف الورقة للاعلى حيث تشبه المسحاة او الملعقة مع حدوث تجعد لها . هذا وتتأثر الجذور بدرجة اشد من الاجزاء الهوائية . وبالنسبة للاشجار فانها قد تفقد اوراقها عدة مرات بمعنى كلما ظهرت اوراق جديدة فأنها تسقط وهكذا . كما يلاحظ قلة عدد الثمار , وقد تموت الشجرة في الموسم التالي . ويذكر ان اشجار العنب والخوخ والعرموط حساسة للسمية بالفلور .

وفي التفاح ظهرت السمية عندما كان محتوى اوراقها 390 جزء بالمليون F في مادتها الجافة . وقد سببت السمية بالفلور بالاضافة الى الحروق التي ظهرت على قمة وحواف الاوراق وانحناء حوافها الى الاعلى الى تمزق الثمار واحاطة المنطقة الممزقة بهالة ارجوانية مع ظهور مناطق غائرة على الثمرة مما قد يسبب حدوث التباس في التشخيص بين السمية بالفلور والنقص بالبورون .

إن استخدام الفلور كمبيد قد يسبب سمية للمحاصيل الزراعية والذي قد ينعكس على صحة الانسان والحيوان سلبياً وخاصة اذا ما تجاوز تركيزه فيها الى اكثر من 2.8 جزء بالمليون F في مادتها الجافة . وبعض البلدان تسمح بتسويق التفاح والخوخ حتى 7 جزء بالمليون F .

ويظهر ان التأثير الضار للفلور يرجع الى تأثيره على بعض الانزيمات المهمة في دورة كريبس حيث يعمل على تثبيط عملها مثل انزيم Aconitase الذي يكون مسؤولاً عن تحويل السترات الى الايزوسترات في دورة كريبس للتنفس مما يسبب

توقف الدورة وعدم تمكين النبات من الحصول على الطاقة اللازمة له نتيجة عملية هدم الكربوهيدرات . كما تبين تأثيره على انزيم الـ Enolas الذي يعمل على إزالة جزيئة ماء في مجرى الـ Glycolysis كما انه يعمل على ايقاف عمل انزيم الـ Pyrophosphate (Lehninger 1975) مما يحفز اكسدة الاحماض الدهنية الحرة .

وعموماً ان الكميات التي تمتص من الفلور اقل بمائة مرة من الكلور . الفلور يضاف عادة بمعدل ١ جزء بالمليون لمياه الشرب لأنه ضروري لنمو العظام والاسنان وخاصة الاطفال ولذلك فلا عجب ان نلاحظ ان بعض معاجين الاسنان تحتوي على الفلور في تركيبها . غير انه لوحظ ضعف في نمو العظام اذا ما أضيف بتركيز اكثر من 2 جزء بالمليون F في مياه الشرب .

النيكل (Ni) Nickel

يختلف محتوى الترب من النيكل حيث يتراوح من 50-500 جزء بالمليون Ni كلي وفي المتوسط بحدود 100 جزء بالمليون Ni لمعظم الترب . غير ان تربة السربنتين تعتبر غنية جداً بالنيكل وقد يصل تركيزه فيها الى اكثر من 6 آلاف جزء بالمليون Ni كلي .

تتحمل النباتات التراكيز منه في الترب الى 50 جزء بالمليون Ni كلي وتركيزه في النباتات يتراوح عادة من 0.5-5 جزء بالمليون Ni في مادتها الجافة ، بينما نجد النباتات المتأقلمة له قد يصل تركيزه فيها الى اكثر من 200 جزء بالمليون Ni في مادتها الجافة . والنيكل سهل الامتصاص بواسطة الجذور كما في حالة عنصر الكادميوم ، وعندما يصل تركيزه في مادة النبات الجافة من 40-50 جزء بالمليون فانه يسبب سمية لها . فقد وجد في الطماطة ان التركيز 40 جزء بالمليون في مادتها الجافة قد سبب اضراراً لها وعندما وصل الى 150 جزء بالمليون Ni في مادتها الجافة توقف نمو النبات وظهر بقع بنية على الثمار .

كما ان التراكير 88 ، 100 جزء بالمليون Ni في المادة الجافة قد سبب سمية على نباتي الشعير والشوفان على التوالي وكانت الاعراض شبيهة بنقص الحديد .

وفي النباتات ذوات الفلقتين كانت السمية بالنيكل شبيهة بنقص المنغنيز حيث سببت اصفرارا فيما بين العروق ومع اشتداد اعراض السمية أدت الى موت النبات .

وفي النجيليات فبالاضافة الى الشرائط المصفرة على طول الورقة قد يصبح لون الورقة ابيضا وفي الحالات الشديدة للسمية بالنيكل يحدث موت موضعي على حواف الاوراق . وتؤدي زيادة النيكل عادة الى اتلاف الجذور ، الامر الذي يؤثر سلبيا على عملية امتصاص العناصر الغذائية الاخرى . وتأثيره السمي عادة اشد من التأثير السمي لعنصر الكوبلت .

وعموما تظهر السمية بالنيكل في الترب الحامضية وإن اضافة الجير لها يقلل من خطر السمية به .

هذا وقد اشار كل من (1971, Nielson) و (1975, Dixon et al.) الى أهميته للحيوان وانه قد يكون مفيدا للنبات .

الكروم Chromium (Cr)

يعتقد بأن له تأثيرات ايجابية في زيادة كفاءة البقوليات في تثبيت النتروجين الجوي والى فائدته في تكوين جزيئة الكلوروفيل . ولوحظ أن اضافة 0.1 جزء بالمليون Cr للخيار و 0.2 غم لكل شجرة من العنب كان لها تأثير مفيد .

وبالنسبة لنبات الذرة الصفراء وجد أن التراكيز من 5-50 جزء بالمليون Cr في مادة النبات الجافة كان لها تأثيرات سلبية على نمو النبات . وفي تجربة اخرى تبين أن اضافة 5 جزء بالمليون Cr على هيئة كبريتات الكروم في المحاليل المغذية لنبات الشوفان كان لها تأثيراً ضاراً أدت الى ضعف نمو المجموعة الجذرية وكانت الاوراق رفيعة ملونة بلون ارجواني محمر مع حدوث موت موضعي عليها .

ويقدر محتوى الترب من 5-100 جزء بالمليون Cr . غير اننا نجد بعض الترب قد يصل فيها تركيز الكروم الى اكثر من 1000 جزء بالمليون Cr . كما ان تربة السربنتين Serpentine في بورت ريكو تحتوى على 3-5% على هيئة اوكسيد الكروم والذي سبب سمية للنباتات . وبصورة عامة الترب التي تحتوي بحدود 1000 جزء بالمليون Cr كلي تكون سامة بهذا العنصر للنباتات . ويعتبر الكروم مضادا لكثير من المسببات المرضية .

الليثيوم Lithium (Li)

ادت السمية به الى احداث تبقع على اوراق الحمضيات وكانت شبيهة بنقص الزنك والتي تعرف باسم

Mottling or Frenching of Citrus

الباريوم (Ba) Barium

يوجد تقريبا في جميع انواع الترب والنباتات . غير ان تركيزه في النبات منخفض . يبلغ تركيزه في التربة من 0.001-3.7% بالوزن Ba ويعتبر نبات البندق مجمع جيد للباريوم . وهناك آراء على أن الباريوم يمكن ان يحل جزئيا محل الكالسيوم في بعض وظائفه .

يستطيع النبات أن يتخلص من التأثير السمي للباريوم عن طريق ترسيبه على هيئة اكسالات الباريوم .

الروبيديوم (Rb) Rubidium

يمسك بقوة بواسطة معادن الطين ولذلك فهو لاينزل للاعماق . ويتراوح تركيزه في النباتات من آثار الى 1% Rb في مادتها الجافة تقريبا . وقد يحل الربيديوم محل البوتاسيوم في بعض وظائفه .

السترونتيوم (Sr) Strontium

ينتشر بدرجة كبيرة في الطبيعة ولكن مع ذلك فإن تركيزه في الترب قليل جدا وبحدود 0.05% بالوزن وعادة تحتوي النباتات على خمس هذه النسبة . ولم تثبت فائدته للنبات وقد يكون ساما للنبات . غير أن تأثيره السمي اقل من تأثير الباريوم .

الكاليوم (Ga) Gallium

ضروري للفطر Aspergillus niger ولم تثبت اهميته سواء للنباتات او الحيوانات .

التيتانيوم (Ti) Titanium

ينتشر التيتانيوم انتشارا واسعا في الطبيعة . ومعظم انواع الترب تحتوي تراكيز عادة أكثر من 0.5% على هيئة اكسيد التيتانيوم . بيد أن تربة هاواي قد تحتوي على 10% اكسيد التيتانيوم . ويكون معظم التيتانيوم موجودا بشكل خامل كما في حالة عنصر السليكون .

واوراق النباتات تحتوي من 5-6 جزء بالمليون Ti في مادتها الجافة . تشبه اعراض السمية بالتيتانيوم اعراض السمية بعناصر الحديد والالومنيوم والزنك حيث يلاحظ شحوب الكلوروفيل وأحيانا تكون الاوراق بيضاء .



اعراض النقص والسمية بالعناصر الغذائية

1.8 ـ فكرة عامة

إن موضوع اعراض النقص والسمية بالعناصر المعدنية والتي تظهر على النباتات والناجمة عن التغذية غير الكافية أو نتيجة للزيادة بعنصر غذائي معين أو اكثر والتي قد يتزامن أو يتصادف وجودها في آن واحد قد درست وبشكل مكثف منذ بداية العهد الحديث لعلم تغذية النبات . وطبقاً لما أورده (Kühn, 1972) فإن Gris 1847/1844, يعتبر أول من أثبت وبالدلائل المادية الملموسة على أن التغذية غير الكافية بأحد العناصر الغذائية تؤدي الى احداث تغييرات نموذجية وواضحة على النباتات . كما أن الدراسات التي قا بها Salmhorstar في عامي 1849 و 1851 هي الاخرى جديرة بالذكر حيث يعد من الرواد الاوائل والذي درس تأثير العناصر الغذائية منفردة أو مجتمعة على نبات الشوفان وقام بوصف للالوان التي تظهر على النبات نتيجة لذلك حيث نجد تعبيرات مثل « رمادي » و « أخضر مصفر » و « اخضر شاحب » و « اخضر داكن » . ومنذ ذلك الحين فإن التعرف على مظاهر نقص العناضر الغذائية ميدانياً يعتبر من أبسط الوسائل والتي لايمكن الاستغناء عنها والتي يجب على كل العاملين في المجال الزراعي ضرورة معرفتها والالمام بها .

وطبقاً لما ذكره (Clerling, 1971) فإن Vorolev 1917, يعتبر أول من قام بوصف مظاهر أعراض نقص العناصر الغذائية في الاتحاد السوفيتي . كما ظهرت وما تزال تظهر نشرات وبحوث عديدة حول نقص العناصر الغذائية أو السمية بها والتي تتضمن عادة صور ملونة أو غير ملونة . وسنحاول في هذا الفصل توضيح بعض النقاط المهمة باختصار .

2.8 ـ الاساسيات والمبادىء العامة للتعرف على النقص او السمية بالعناصر المعدنية .

وتشمل هذه كلاً مما يلي : ـ

1 ـ أن يكون للمرء خبرة جيدة وطويلة وأن يكون ملماً الماماً كاملاً وشاملاً بكل الاسباب والعوامل التي تؤدي الى ظهور اعراض النقص او السمية بالعناصر الغذائية .

2 ـ يجب امتلاك القدرة والمعرفة التامة للتمييز بين الاعراض الناتجة عن نقص العناصر الغذائية أو السمية بها وبين الاعراض الناتجة عن اصابة النباتات بالامراض الفايروسية أو السمية نتيجة الرش بالمبيدات أو اصابة النباتات بالصقيع أو الجفاف .. الخ . وبهذا فانه يجب فحص النبات كاملاً وبدقة متناهية قبل ابداء الرأي .

3 ـ ضرورة الالمام الكامل بوظائف العنصر الفسلجية المختلفة في النبات لان ذلك يسهل من امكانية التعرف وبسرعة في عملية تحديد العنصر المسؤول عن احداث الخلل الناشيء على النبات في أيضه الحيوي . فعلى سبيل المثال لا الحصر فإن نقص عنصر المولبذنم يؤدي الى تجمع النترات والاميدات علاوة على الانخفاض الواضح في الحاصل ونوعيته . كما أن نقص عنصر البوتاسيوم يعمل على تجمع الاميدات السامة مثل Agmatine والـ Putrescine . وفي حالة نقص عنصر البورون يحدث تراكم للكالوز والذي هو عبارة عن نوع من Polysaccharides مما يؤدي الى انسداد الاوعية الناقلة وعدم انتقال ووصول المواد المصنعة الى قمة النبات الامر الذي يؤدي الى موت البرعم الطرفي . كما أن نقص عنصر الكالسيوم يتسبب في اكسدة المركبات الفينولية وتحولها الى quinones والتي ترتبط بدورها مع الاحماض الامينية والبروتينات مكونة الميلانين والتي تؤدي أيضاً الى انسداد الاوعية الناقلة في الاوراق حيث تبدو بنية اللون ويصحب ذلك أيضاً موت البرعم الطرفي للنبات .

كذلك فإن بعض العناصر الغذائية تعمل كمساعدات انزيمية وإنها ليست فقط ضرورية لتكوين الانزيمات ولكن أيضاً فإنها ضرورية لفعاليتها وعليه فان نقصها يؤدي الى احداث خلل في التفاعلات الايضية التي تقوم بها تلك الانزيمات الامر الذي قد يؤدي الى احداث تغيرات مورفولوجية في بناء الخلايا والانسجة او الى حدوث تشوهات معينة والتي تكون غالباً نموذجية لهذا العنصر أو ذاك . وبالطبع فإن ذلك غالباً مايكون مصحوباً بحدوث اعاقة في نمو النبات او الى موت أجزاء من النبات او حتى موت النبات

بكامله . والامثلة على ذلك كثيرة حيث لايحدث تكوين الكلوروفيل في حالة غياب المغنيسيوم . أو حدوث تثبيط لعملية تكوين اللكنين نتيجة لانخفاض نشاط انزيم الـ Polyphenoloxidase في حالة نقص النحاس . او حدوث ذبول للنبات نتيجة لانخفاض قيمة الضغط الانتفاخي عند نقص عنصر البوتاسيوم .

إن تجمع النترات والاميدات في حالة نقص المولبدنم قد تسبب سمية بها على النباتات . كذلك فإن السمية بعنصر الالومنيوم في الترب الحامضية غالباً ماتكون مصحوبة بنقص الفسفور أو بنقص الحديد .

أ ـ ضرورة التمييز بين أعراض نقص العنصر في مراحل نمو النبات المختلفة . فعلى سبيل المثال نقص عنصر النتروجين يجعل النبات متقزماً ولونه اخضر شاحباً والاوراق تكاد تكون قائمة حيث تشكل زاوية حادة ضيقة مع الساق بمعنى ان النبات يكون غير مفترش وذلك في مراحل نمو النبات الاولى . في حين تكون الاوراق الحديثة اعتيادية مع حدوث موت وتساقط للاوراق القديمة في مراحل نمو النبات المتأخرة .

ومما تجدر الاشارة اليه أن مظاهر نقص العنصر الواحد قد تختلف كثيراً باختلاف أنواع النباتات فعلى الرغم من أن نقص النتروجين يؤدي الى اصفرار كامل للاوراق القديمة والى موتها وتساقطها فإن نقصه في اللهانة والقرنابيط واشجار الفاكهة ونتيجة تجمع السكريات وصبغة الانثوسيانين يسبب ظهور لون احمر او بنفسجي محمر وهذه الاعراض شبيهة بنقص الفسفور في النباتات .

ومما تجدر ملاحظته أيضاً ان الخلل الناتج في الايض الحيوي نتيجة للنقص او السمية بالعناصر الغذائية يؤدي الى ظهور أعراض متشابهة في حالة دخول نفس العناصر في نفس العمليات الحيوية التي يقوم بها النبات . فمثلاً نقص المنغنيز يؤدي الى تلون الاوراق الحديثة بلون أخضر فاتح أو اخضر زيتوني وهذا بشكل عام قد يشبه نقص عنصر النتروجين والتي من الصعب التمييز بينهما اعتماداً على المظهر الخارجي ولذلك فإن اخذ عينات نباتية او الاستعانة كذلك بأخذ عينات من التربة لفحصها في المختبر تكون مهمة وضرورية لمعرفة السبب الحقيقي . كما ان النقص الشديد بالمنغنيز قد يشبه النقص بالحديد أو النقص بالمغنيسيوم حيث أن هذه العناصر الثلاثة تشترك في دورة كريبس للتنفس وعليه فإن التحليل يكون ضرورياً أيضاً في مثل هذه الحالة .

وعند أخذ النماذج النباتية لتحليلها مختبرياً يجب عدم أخذ الاجزاء النباتية المصابة فقد ولكن يجب أن تكون العينة النباتية شاملة حتى للاجزاء السليمة من النبات حيث أن الاجزاء المعرضة بشدة لنقص العنصر الغذائي قد يحدث بها تهدم للمركبات العضوية أو نظراً لانخفاض كميتها فإنها غالباً تحتوي على تراكيز عالية من العناصر الغذائية في رماد عيناتها والتي من ضمنها كذلك العنصر المراد فحصه مختبرياً .

5 ــ ضرورة التمييز بين الاعراض الرئيسية والثانوية التي يسببها نقص العنصر الغذائي . والاعراض الرئيسية ترتبط أساساً بوظائف العنصر نفسه بداخل النبات كأن يدخل مباشرة في تكوين البروتينات او كجزء من نظام الانزيمات او في جزيئة الكلوروفيل وفي هذه الحالة تظهر أعراض نقص العنصر الغذائي في بداية حياة النبات مثل النقص بعناصر الـ N و S و Mg . او قد يكون العنصر ضرورياً لنقل نواتج عملية التمثيل فتظهر الاعراض في مرحلة متأخرة من نمو النبات كما في حالة B و K . إن تجمع السكريات الناتجة عن عدم انتقالها نتيجة لنقص عنصر البوتاسيوم ولزيادة تكون صبغة الانثوسيانين في هذه الحالة تؤدي الى ظهور لون ارجواني شبيه بأعراض نقص الفسفور ولذلك يجب ضرورة الانتباه الى ذلك .

3.8 التمييز بين الاعراض الرئيسية والثانوية لنقص العناصر الغذائية

وسنحاول هنا أن نعطي مثالين لكيفية التمييز بين الاعراض الرئيسية والثانوية التي قد يسببها النقص بعنصر غذائي .

المثال الاول (عنصر الكبريت)

نتيجة للتأثيرات السلبية التي يسببها نقص الكبريت لدخوله في تكوين البروتين فإن أعراض نقصه تظهر في بداية حياة النبات حيث يسبب اصفراراً للنبات وتكون الاعراض شبيهة بأعراض نقص النتروجين لدرجة قد يصعب حتى على كثير من المختصين ذوي الخبرة من قدرة التمييز بينهما . ونتيجة للخلل الذي يحدث في بنية البروتين فيحدث تجمع للنترات وكذلك تجمع للفسفور المعدني بمعنى عدم استفادة النبات من الفسفور المعدني المضاف مما يتسبب في احداث نقص بعنصر الفسفور وعليه فيظهر لون ارجواني راجع أساساً الى نقص عنصر الكبريت . وعليه فتظهر أعراض بعيدة كل البعد عن الاعراض الرئيسية النموذجية والتي يتميز بها النقص بعنصر الكبريت وهي تقزم للنبات مع اصفرار النبات وخاصة الاوراق الجديثة والتي تبدو صفراء تماماً بما فيها العروق الرئيسية للورقة والتي تظل طرية ولا تجف ولا تتساقط .

المثال الثاني (عنصر البوتاسيوم)

نظراً لأهميته في تنشيط أكثر من 60 انزيماً ولتحكمه في عملية غلق وفتح ثغور الورقة واشتراكه في عملية تنظيم الجهد الازموزي لخلايا النبات ولاشتراكه في انتاج مركب الطاقة الـ ATP وبالتالي رفعه لقدرة النبات في عملية التركيب الضوئي فتظهر أعراض نقصه عادة في وقت مبكر أكثر مما في حالة نقص عنصر المغنيسيوم والتي تتميز بذبول دائم للاوراق حيث تكون الاوراق مرتخية ومتدلية للاسفل. ولكن في المراحل المتأخرة من نمو النبات ولأهميته في عملية نقل الكربوهيدرات من اماكن تكوينها الى اماكن تخزينها فإن نقصه يسبب تجمع لها مما يضفي على الاوراق لوناً ارجوانياً شبيهاً بأعراض نقص عنصر الفسفور لذا فإن مثل هذه الاعراض الاخيرة تعتبر أعراضاً ثانوية للنقص بعنصر البوتاسيوم في حين أن ذبول النبات يعتبر من الاعراض الرئيسية.

4.8 ـ اسباب ظهور أعراض نقص العناصر الغذائية:

1) تركيز العنصر الجاهز للامتصاص في التربة غير كاف لحدوث نمو مثالي للنبات وفي جميع مراحل نموه المختلفة حيث أن احتياجات النبات من عنصر ما قد تختلف باختلاف مراحل نموه فمثلا النجيليات يكون اقصى احتياج لها من عنصر المغنيسيوم في مرحلة التفرعات.

2) استنزاف العنصر المستمر من التربة مع عدم التعويض به بالكميات المناسبة للمحاصيل اللاحقة في الدورة الزراعية.

3) الغسل المستمر للعنصر من مقد التربة ونزوله الى الاعماق بعيدا عن منطقة امتصاص جذور النبات. أو ترسيبه على هيئة مركبات معقدة غير جاهزة للامتصاص مثل ترسيب الحديد على صورة هيدروكسيد الحديديك $Fe(OH)_3$ او ترسيب الفسفور على شكل فوسفات الحديد أو الالومنيوم $AlPO_4$ و $FePO_4$.

4) عوامل عائدة للتربة نفسها مثل نقص الاوكسجين وزيادة غاز CO_2. او زيادة تركيز الكربونات والبيكربونات أو الى وجود طبقة صماء في التربة تجعل بدورها الظروف غدقة مما يشجع عملية فقد النتروجين على شكل غاز او حدوث تجمع لكبريتيد الهيدروجين H_2S او زيادة تراكيز الـ Mn السامة والتي بدورها تؤدي الى احداث نقص بالـ N او الـ Fe.

5) تغييرات في درجة تفاعل التربة نتيجة لتغير محتوى التربة من $CaCO_3$ او المادة العضوية والتي تلعب دورا مهما في تأثيرها على جاهزية العناصر الغذائية وخاصة العناصر الغذائية الصغرى .

6) الاختلاف في قدرة الترب الامدادية والتي تتوقف بدورها على عوامل كثيرة منها نسجة التربة وبناؤها ومحتواها من الطين والدبال والتي تتحكم بدورها في محتوى التربة من الماء والهواء وحرارة التربة أو الرقم الهيدروجيني للتربة كما سبق وأن بينا ذلك . كما أن نوع النبات يلعب دورا في ذلك .

7) المنافسة أو التضاد بين العناصر الغذائية التي تحدث أثناء عملية امتصاصها من قبل جذور النباتات .
حيث أن زيادة تركيز عنصر غذائي قد يعيق أو يعرقل امتصاص عنصر غذائي آخر . فمثلا وجود تراكيز عالية من كل من الـ Ca او الـ Mg تقلل من امتصاص الـ K وقد تسبب في ظهور أعراض نقصه .

8) سوء نسبة العناصر الغذائية في التربة أو في النبات فمثلا زيادة الفسفور في التربة او في النبات قد يعمل على ترسيب العناصر الغذائية الصغرى (Fe و Mn و Cu و Zn) في التربة او في الجذور ويعرقل انتقالها الى الاجزاء الهوائية مما يسبب ظهور نقصها عليها .

9) الزراعة الكثيفة أو زراعة اصناف ذات انتاجية عالية حيث تكون هنا الاحتياجات من العناصر الغذائية عالية . او زراعة الترب البكر (virgin) والتي تزرع لاول مرة فقد تعاني مثل هذه الترب من النقص بعنصر ما وذون معرفة مسبقة بذلك . او زراعة محصول مستهلك لاخذ العناصر الغذائية من تربة كانت غير مخصصة أصلا لزراعته في السابق مثل زراعة الترب الخفيفة الفقيرة بالبورون بمحصول البنجر السكري ذو الاحتياجات العالية للبورون . او زراعة الجت في تربة ذات محتوى واطيء من عنصري الكالسيوم او الموليبدنم . او زراعة الاصناف الجديدة في مناطق كانت مستغلة سابقا ولعشرات السنين مما قد يؤدي الى ظهور أعراض نقص بأحد العناصر الغذائية أو اكثر عليها .

10) إن عدم استواء الارض المزروعة قد يعرض النباتات في المناطق المنخفضة الى ظروف غدقة لاهوائية وهنا قد تعاني النباتات من النقص بالـ N او الحديد او للسمية بالـ Mn أو H_2S . اما المناطق المرتفعة فقد تتعرض نباتاتها الى ظروف الجفاف وتكون النباتات مهددة لاظهار أعراض نقص عناصر الـ Mo و Cu وبدرجة اشد وطأ لعنصري الـ B و Ca واللذان يمتصان بالدرجة الاساس ويدخلان النبات عن طريق تيار النتح .

11) اجراءات التسميد الخاطئة كالاعتناء باضافة عنصر غذائي بكميات كبيرة مع اهمال التسميد بالعناصر الغذائية الاخرى كما يحدث في حالات كثيرة كالتسميد بالنتروجين أو الفسفور .

12) اختلاف احتياجات النباتات من عنصر او عناصر غذائية معينة يجعلها لان تكون معرضة أكثر من غيرها بظهور نقصها على النباتات والمزروعة معها والمتواجدة في نفس المكان والزمان . حيث تكون المحاصيل الدرنية حساسة للبوتاسيوم ونبات عباد الشمس حساس للبورون والسبانغ حساس للحديد والحمضيات والتفاح حساسة للكالسيوم .

13) علاقة العنصر بتطور مراحل نمو النبات

يلاحظ ظهور نقص عنصر غذائي في مرحلة مبكرة من نمو النبات والتي ترجع بالاساس الى ضعف المجموعة الجذرية للنبات التي تعجزعن امتصاص الكميات اللازمة من هذا العنصر بالرغم من وجوده بكميات جاهزة تفي حاجته ثم يلاحظ تلاشي تلك الاعراض مع تطور نمو النبات وفي هذه الحالة تصبح المجموعة الجذرية جيدة وتقوم بامتصاص مايحتاجه النبات من هذا العنصر . وهذه حالة نموذجية للمحاصيل الحولية مثل النجيليات وكذلك محاصيل الخضراوات السريعة النمو والتي يظهر عليها نقص المغنيسيوم في حين لايظهر على النباتات الاخرى والبطيئة النمو والمزروعة معها في نفس التربة .

كما يلاحظ ظهور نقص الحديد على الاشجار بعد مرور 4-6 سنوات من زراعتها والذي يرجع الى تعمق جذورها الى الطبقة تحت السطحية والتي تعاني من نقص الاوكسجين والذي يؤثر كثيرا على قدرة جذورها في امتصاص عنصر الحديد . كما ان الاشجار في هذا العمر تكون معرضة للنقص بعنصر البوتاسيوم والذي يتركز وجوده عادة في الطبقة السطحية من التربة . وهذا مايلاحظ غالبا في الترب الطينية الثقيلة التي لاتزول أعراضه حتى باضافة البوتاسيوم لها حيث يمدص البوتاسيوم في الطبقة السطحية لهذه الترب . وينصح في هذه الحالة بضرورة خلط الكميات المضافة منه كسماد جيدا مع تربة الطبقة تحت السطحية المتواجد فيها المنطقة الفعالة من الجذور في عملية الامتصاص .

14) اضافة مخلفات المدن قد تسبب غالبا السمية وخاصة بالعناصر المعدنية الثقيلة والتي قد تنعكس تأثيراتها السلبية على الانسان أو الحيوان الذي يتغذى على مثل هذه النباتات . وعلاوة على ذلك فإن وجود هذه العناصر بتراكيز عالية قد تسبب منافسة لعناصر غذائية ثقيلة اخرى مثل الحديد .. الخ وتؤدي الى ظهور نقصها على النباتات .

5.8 العوامل المختلفة التي تؤدي الى صعوبة تشخيص النقص بالعناصر الغذائية

إن عملية تشخيص نقص العناصر الغذائية او السمية بها ليست سهلة كما يتبادر للذهن لاول وهلة . فهي عملية معقدة وتحتاج الى خبرة طويلة . وتكمن الصعوبة في عملية التشخيص للاسباب الاتية : ــ

1) هناك اعراض تشبه الاعراض الناتجة عن نقص العناصر الغذائية او السمية بها ولكنها غير متسببة عن العناصر الغذائية مثل تجمع السكريات في نبات الذرة الصفراء الناتج بسبب حدوث كسر في العرق الرئيسي للاوراق او سقوط العرانيص فيظهر لون ارجواني على الاوراق والذي يشبه اعراض النقص بعنصر الفسفور .

ومن الامثلة الاخرى في الخريف وعندما تتجمع السكريات ولزيادة تكون حامض الابسيسيك في الاوراق استعدادا لسقوطها فيصبح لونها أرجوانيا والتي تسبب أيضا التباسا في عملية التشخيص حيث قد يقال انها تعاني من نقص الفسفور ولكن الحقيقة تشير الى غير ذلك تماما .

2) العوامل الخارجية او البيئية او اصابة النباتات بالآفات الضارة قد تسبب اعراضا شبيهة او مقاربة لاعراض النقص او السمية بالعناصر المعدنية فعلى سبيل المثال نذكر منها مايلي : ــ

أ) الظروف الجوية

حيث ان انخفاض درجات الحرارة والصقيع تؤدي الى تكوين لون ارجواني محمر يشبه النقص بعنصري الـ N و P كما في حالة بادرات الحنطة والطماطة واشجار الفاكهة . او الى جفاف حواف وقمة الاوراق مثل النقص بعنصر الـ K كما في حالة اشجار الفاكهة في نهاية الصيف او صقيع الخريف .

والجفاف قد يسبب لونا ارجوانيا محمرا مثل النقص بعنصري الـ N و P واحيانا يظهر لون اخضر مزرق مثل السمية بالـ N او جفاف حواف الاوراق مثل النقص بعنصر الـ K .

كما ان الرياح تؤدي الى جفاف حواف الاوراق كما في حالة النقص بعنصر الـ K .

ب) عوامل عائدة للتربة نفسها

حيث أن الظروف الغدقة تؤدي الى ظهور ألوان صفراء وحمراء أو أرجوانية كما في حالة نقص الـ N و P أو الى احتراق حواف الاوراق كما في حالة نقص عنصر البوتاسيوم أو الى حدوث اصفرار شبيه بالنقص بالـ Fe و Mn . كما ان نقص رطوبة التربة يؤدي الى اعراض شبيهة بأعراض الجفاف التي سبق ذكرها .

إن وجود طبقة صماء او انخفاض محتوى التربة من المادة العضوية تؤدي الى تكوين لون أرجواني محمر كما في حالة النقص بعنصري الـ N و P . أو الى احتراق حواف الاوراق كما في حالة نقص الـ K . كذلك فإن الادغال تسبب اصفراراً أو احمراراً للاوراق كما في حالة النقص بعنصر الـ N .

جـ) أضرار الحشرات

إن اصابة البطاطا بالنياتودا تؤدي الى اصفرارها كما في حالة نقص عنصر الـ N . في حين أن اصابة الطماطة بها يؤدي الى تلون النبات بلون ارجواني شبيه بنقص الـ N أيضاً .

كما أن الاصابة بحشرات سوس الحبوب (Weevils-Coleoptera) أو أنواع من الذباب (Midge-Diptera). والتي تصيب منطقة التاج والاوراق حيث تؤدي الى تشوه شكل الاوراق وظهور نموات جديدة توحي للمرء بأنها تعاني من النقص بعنصر المولبدنم أو النقص بعنصر البورون . وبالمثل فان العنكبوت الاحمر والذي يكون تراكيب برونزية الشكل يخلق التباساً في عملية تشخيص نقص العناصر الغذائية .

د) الاصابة بالفطريات والبكتريا

ينشأ نتيجة اصابة النباتات بها تنخر شريطي يشبه مرض التبقع الرمادي (Grey speck disease) على الشوفان المتسبب عن النقص بعنصر المنغنيز . والامراض التي تسببها على جذور النباتات أو عند منطقة اتصال الجذر بالساق والتي تؤدي الى ظهور اصفرار مع احتراق وجفاف حواف الاوراق ينشأ عنها أعراضاً شبيهة بنقص عنصر البوتاسيوم . كما ان اصابة البطاطة بفطر الرايزوكتونيا (Rhizoctonia) والتي تؤدي الى موت جذور البطاطة مما ينتج عنه التفاف الاوراق في قمة النبات بحيث تشبه في مظهرها اعراض النقص بعنصر الكالسيوم .

هـ) الاصابة بالامراض الفايروسية

إن اصابة النباتات بالـ (Yellow virus) يؤدي الى حدوث اصفرار وتنخر موضعي للخلايا تشبه أعراض نقص المغنيسيوم كما في حالة نبات البنجر السكري او تشبه اعراض نقص البوتاسيوم بالنسبة لنبات البطاطا .

و) الاصابة الميكانيكية في الحقل والجروح وأضرار اخرى مثل الحالوب حيث يسبب ذلك أضراراً على قلف الاشجار وظهور ألوان صفراء أو حمراء او أرجوانية شبيهة بأعراض نقص عناصر الـ Mg و K و Ca و N .

كما أن اضرار المعاملة برش المبيدات على النباتات تؤدي في كثير من الحالات الى نشوء الوان صفراء أو بنية على حواف الاوراق توحي بأنها تعاني من النقص بأحد عناصر الـ Mg و K و Ca و N .

كما ان الاخطاء الناتجة من عملية اضافة الاسمدة قد تؤدي الى ظهور الوان على قمة وحواف الاوراق تشبه في مظهرها أعراض النقص بعنصر البوتاسيوم .

ز) تأثيرات ناتجة عن السمية بالعناصر الغذائية

إن اصابة النباتات بالسمية بعنصر المنغنيز غالباً ما تؤدي الى معاناة النباتات من النقص بعنصر الحديد . ومما يزيد المشكلة هو أن اعراض السمية والنقص بالمنغنيز غالباً ما تكون متشابهة لدرجة يصعب معها التمييز بينهما لذا ينصح بقياس الـ pH للتربة حيث ان السمية بهذا العنصر تظهر غالباً تحت الظروف الحامضية .

كما ان زيادة اضافة الاسمدة النتروجينية أو الفوسفاتية قد تسبب النقص بعنصر البوتاسيوم . والسمية بالبورون تؤدي الى ظهور أعراض شبيهة بنقص عنصري البوتاسيوم والمغنيسيوم .

ح) استخدام الهرمونات

لوحظ ان استخدام الاثيلين قد سبب التفافاً للاوراق كما في حالة النقص بعنصر الكالسيوم . وإن استخدام مادة السايكوسيل (Cycocel) والتي هي عبارة عن مادة الـ Chlon,Choline Chloride (CCC) والتي تقلل من انتاج حامض الجبريليك (Gibberellic acid) وبالتالي تؤدي الى قصر السلاميات الامر الذي قد يسبب التباساً في عملية التشخيص فقد يعزى ذلك الى النقص بعنصر الزنك او الى النقص بعنصر البورون أحياناً .

ط) إن ظهور أعراض نقص العنصر الغذائي بمظاهر مختلفة باختلاف النباتات وكذلك باختلاف العضو النباتي يعقد من عملية تشخيص نقص العناصر الغذائية .

ي) قد يظهر على النبات في آن واحد النقص بأكثر من عنصر غذائي .

وعموماً فان النقص بأزواج العناصر التالية غالباً ما يكون شائعاً مثل (Fe,Mo) و (Fe, Mn) و (Fe, Zn) و (Mo, B) و (N,P) وأخيراً (K, Mg) .

مما تقدم يتبين لنا ان عملية التشخيص هي عملية معقدة ويتضح بالاستعانة باجراء تحاليل لعينات التربة وللنماذج النباتية مع الاخذ بنظر الاعتبار نوع النبات وعمره والعضو النباتي. كما يجب فحص النبات بالكامل وكذلك فحص الخواص الفيزياوية للتربة والقاء نظرة فاحصة على الحقل للتأكد من تجانس عمليات التسوية وعدم وجود مناطق منخفضة غارقة أو مناطق مرتفعة قد تكون معرضة للجفاف ومحاولة التأكد من عدم حدوث اخطاء في عمليات التسميد أو الرش بها او الرش بالمبيدات او استخدام الهرمونات .... الخ .

$$\text{كما يفضل قياس القيمة} = \frac{\text{كمية العنصر في الاوراق القديمة}}{\text{كمية العنصر في الاوراق الحديثة}}$$

لأن ذلك يعطينا فكرة عن مدى تحرك العنصر بداخل النبات فاذا كانت القيمة أكبر من واحد فهذا يدل على تجمع العنصر وبطء أو عدم انتقاله الى الاجزاء العليا من النبات وهذا يعني انه في حالة وجود نقص للعنصر في التربة فإن أعراض نقصه على النبات تبدأ في الظهور أولاً على الاوراق الحديثة . مثل النقص بعناصر الحديد والبورون والكالسيوم والنحاس والكبريت .

وعلى العكس اذا كانت القيمة أصغر من واحد فهذا يدل على تجمع العنصر في الاوراق العلوية الحديثة التكوين والذي يعني التحرك الجيد والسريع للعنصر بداخل النبات وانتقاله من الاوراق القديمة الى الاوراق الحديثة وعليه في حالة وجود نقص للعنصر في بيئة النمو فتظهر أعراض نقصه أولاً على الجزء السفلي أي الاوراق القديمة من النبات مثل النقص بعناصر النتروجين والفسفور والبوتاسيوم .



تأثير العوامل الوراثية والبيئية على تغذية النبات

1.9 ـ تأثير العوامل الوراثية على تغذية النبات

من المعروف ان العوامل الوراثية في النبات تسيطر على جميع الفعالبات الفسيولوجية فيه ومن ضمن هذه الفعاليات امتصاص وانتقال واستغلال المغذيات المعدنية . وفي الوقت الذي توجد بعض الدراسات التي تشير الى وجود طفرات وراثية في جينات مفردة تؤدي الى حالات معينة من الاختلال في التغذية المعدنية للنباتات ، فإن هناك عدداً كبيراً من الدراسات التي تبين ان التأثيرات الوراثية في تغذية النبات تكون كمية أي انها ناتجة عن تأثير عدد من الجينات في كل حالة .

ومن الدراسات الاولى التي بينت ان عاملاً وراثياً معيناً يسيطر على صفة معينة في تغذية النبات هي الدراسة التي قام بها Weiss (1943) على الاصفرار الناتج عن نقص الحديد في بعض اصناف فول الصويا حيث تبين ان هذا النقص الغذائي سببه زوج واحد من الأليلات أي ان الاصفرار يظهر عند وجود الاليل المتنحي بصورة نقية في النبات وقد بينت دراسة لاحقة من قبل Brown و Holmes و Tiffin (1958) ان التأثير المؤدي الى هذا النقص هو عدم قابلية النباتات التي تفتقد الجين السائد على اختزال الحديديك الى حديدوز في الجذور وبالتالي عدم قابليتها على نقل الحديد من الجذور الى الاجزاء العليا من النبات .

كما بينت دراسة من قبل Pope و Munger (1953a) ان حساسية نبات الكرفس لنقص المغنيسيوم سببها جين واحد يؤدي الى الحالة الطبيعية عندما يكون موجوداً بالحالة السائدة ويؤدي الى ظهور اصفرار ناتج عن نقص المغنيسيوم في الحالة المتنحية ويبدو أن الخلل في تجهيز المغنيسيوم يوجد في الجذور او السيقان وذلك لامكانية التغلب عليه برش أوراق النباتات بمحاليل المغنيسيوم وليس بمعاملة

التربة . كما بينت دراسة أخرى لـ Pope و Munger (1953b) ان حساسية احدى سلالات الكرفس لنقص البورون سببها زوج واحد من الاليلات المتنحية لجين واحد .

كذلك بينت دراستان من قبل Bell و Bogorad و McIlrath (1958 و 1962) ان الاصفرار المخطط الذي يحصل في اوراق الذرة الصفراء والذي وصفه Beadle (1929) كطفرة وراثية متنحية يكون سببه مشابهاً لنقص الحديد في فول الصويا المتسبب عن عدم اختزال الحديديك الى حديدوز في الجذور .

أما دراسة Wall و Andrus (1962) عن الطفرة الوراثية التي تسبب مرض الساق الهش في الطماطة فقد بينت ان الجين المتنحي يسبب نقص البورون في الاوراق نتيجة عدم انتقال البورون الممتص من قبل الجذور الى الاجزاء العليا من النبات .

وهناك حالات اخرى لها علاقة بميتابولزم العناصر الغذائية في النبات تسيطر عليها جينات مفردة فقد لاحظ Bernard و Howell (1964) ان معظم اصناف فول الصويا تنمو بصورة جيدة في المحاليل الغذائية حتى بوجود تراكيز عالية من الفوسفات في المحلول (بضعة مليمولات لكل لتر) ولكن بعض الاصناف كانت حساسة لهذه التراكيز العالية من الفوسفات وظهرت عليها بقع وأصفرار في الاوراق وتوقف نموها وقد تبين نتيجة التهجين بين الاصناف المقاومة والحساسة ان هذه الصفة يسيطر عليها زوج من الاليلات لجين واحد . وفي دراسة اخرى أجراها Abel (1969) حول مقاومة بعض اصناف فول الصويا للملوحة تبين ان جذور الاصناف المقاومة وكذلك الاصناف الحساسة تمتص أيونات الكلوريد ولكن في الاصناف المقاومة للملوحة تنتقل كمية قليلة من هذه الايونات الى الاوراق بينما في الاصناف الحساسة للملوحة تنتقل كمية كبيرة من الكلوريد مسببة تنخر الاوراق وبالتالي موت النباتات وكانت صفة المقاومة هي الصفة المتغلبة وصفة الحساسية هي الصفة المتنحية .

وقام Shea وزملاؤه (1967, 1968) باجراء بحثين حول السيطرة الوراثية على كفاءة سلالات من نبات الفاصوليا على استغلال البوتاسيوم وفي الوقت الذي لم تختلف فيه السلالات الكفوءة وغير الكفوءة في امتصاص ونقل البوتاسيوم فان الفرق كان في كفاءة الاستفادة من هذا العنصر حيث لم تظهر أعراض نقص البوتاسيوم في السلالات الكفوءة عندما كانت نسبة البوتاسيوم في الاجزاء العليا

من النبات 0.5% الى 1% بينما ظهرت اعراض نقص البوتاسيوم في السلالات غير الكفوءة ، وقد تبين ان السلالات الكفوءة كانت نقية وراثياً لزوج من الاليلات المتنحية .

أما بالنسبة لمستوى أنزيم اختزال النترات (Nitrate Reductase) في السلالات النقية من الذرة الصفراء فقد تبين انها تحت سيطرة أثنين من الجينات كما بين ذلك Warmer وزملاؤه (1969) ، وربما تكون هناك حالات أخرى مشابهة تحت سيطرة جينات متعددة ، وكذلك تدل دراسات اخرى على وجود فروقات وراثية كمية بين أصناف نباتات الحاصيل بالنسبة لامتصاص وانتقال واستغلال العناصر الغذائية أو مقاومتها لتراكيز عالية من العناصر المعدنية (Epstein 1972,) .

وعندما نحلل نباتات من أصناف مختلفة لنفس النوع مزروعة تحت ظروف متشابهة في نفس التربة بالنسبة لمحتواها من العناصر الغذائية والمعدنية نجد عادة فروقاً كبيرة بينها ، ولاتدل هذه الفروق بالضرورة على ان الصنف الذي توجد فيه كميات كبيرة من عنصر غذائي معين في أوراقه يمتلك نظاماً أكثر كفاءة لامتصاص ونقل ذلك العنصر وانما قد يعني ان النظام الجذري لهذا الصنف يكون أكبر وذو تفرعات أدق وبالتالي يتمكن من التغلغل في التربة بكفاءة اكبر .

ومع ذلك فان هناك حالات عديدة تدل على ان الفروق بين الاصناف في أخذها للعناصر الغذائية تعكس فروقاً مسيطر عليها وراثياً في ميكانيكية التغذية المعدنية وخاصة بالنسبة لامتصاص وانتقال عنصر معين حيث انه من المتوقع أن تؤدي الفروق الكـ[illegible] في مورفولوجي الجذور الى فروقات متوازية في أخذ جميع أو بعض العناصر . ولكن عندما يختلف صنفان كثيراً بالنسبة لامتصاص عناصر معينة وليس بالنسبة لعناصر أخرى فان ذلك يقودنا الى افتراض ان الفروق تعود الى ميكانيكية التغذية المعدنية المسيطر عليها وراثياً . واذا كانت الفروق كمية فهناك احتمال بان العملية تكون تحت سيطرة عدد من الجينات . وقد ذكر Epstein (1972) كثيراً من الأمثلة على هذه الفروق بين الأصناف بالنسبة للتغذية المعدنية لكثير من النباتات الاقتصادية . وكذلك ذكر عدد من الأمثلة عن تأثير الاصول التي تستعمل لتطعيم أشجار الفاكهة على التغذية المعدنية للطعوم حيث تظهر فروقات كبيرة عادة بسبب ذلك .

ان الدراسات التي ذكرت أعلاه تدل على ان التراكيب الوراثية ضمن النوع يمكن أن تختلف كثيراً في نواحي مختلفة من التغذية المعدنية مثل سرعة امتصاص

وانتقال عناصر معينة ، كفاءة الاستغلال الميتابوليكي ، المقاومة لتراكيز عالية من العنصر في وسط النمو وصفات اخرى . وعلى هذا الاساس هناك مجالات كثيرة في مجال التربية والتحسين الوراثي للنباتات في المسائل التي تتعلق بموضوع تغذية النبات .

2.9 ـ تأثير العوامل البيئية على تغذية النبات

ان عوامل البيئة المؤثرة على النبات تشمل الجوانب الفيزياوية والكيمياوية كدرجة الحرارة والضوء والريح والماء والعناصر الغذائية وكذلك الكائنات الحية الاخرى من نفس النوع أو من الانواع الاخرى الموجودة في نفس البيئة (Epstein, 1972) . وبنفس الوقت الذي تؤثر فيه كل من هذه العوامل على النبات ، فان النبات وكل من هذه العوامل يؤثر على العوامل الاخرى بصورة متبادلة . وبذلك تصبح تغذية النبات من العوامل المتأثرة وكذلك المؤثرة في محيط النبات كما يتبين من الدراسات المتوفرة في المصادر .

1.2.9 ـ الترب الكلسية وتأثير موقع النبات :

أشارت الدراسات السابقة الى الدور الحرج الذي يلعبه الكالسيوم في العلاقة بين الجذور ووسط نموها ومن المعروف ان الترب المشتقة من حجر الكلس (الغني بكاربونات الكالسيوم) تكون ذات رقم هيدروجيني عالي وتنمو فيها نباتات تختلف تماماً عن النباتات الموجودة في الترب الحامضية الفقيرة بالكالسيوم . وفي دراسة عن أهمية تركيز الكالسيوم في التربة على نمو النفل الابيض (Snaydon, 1962) **Trifolium repens** تبين وجود علاقة قوية بين تركيز الكالسيوم ونمو النبات في كل عشرة سنتمترات مربعة من تربة التجربة التي كانت مساحتها عشرة مترات مربعة فقط مما يدل على التأثير الهام لموقع النبات على تغذيته .

2.2.9 ـ الملوحة في التربة وتغذية النبات :

ان ملوحة التربة بالاضافة الى تأثيرها الازموزي في تقليل توفر الماء للنبات يرافقها وجود تراكيز عالية وربما سامة من الايونات في محيط النبات . وبالرغم من ان الصوديوم والكلوريد هما في الاغلب الايونين ذوى السمية المحتملة في الترب الملحية فان ايونات اخرى قد توجد في هذه الترب ويكون لها غالباً تأثيرات هامة في بيئة هذه المناطق مثل أيونات الكبريتات ، البيكاربونات ، البورات ، الليثيوم ، وغيرها (Epstein, 1972).. وبالتالي فان وجود هذه الايونات يؤثر ايضاً على حصول النبات على العناصر الغذائية كما ان هناك تفاوتاً بين أنواع وأصناف

وسلالات النباتات بالنسبة لمقاومتها للتراكيز العالية من الاملاح في وسط النمو (1969, Rorison) ولذلك هناك مجالاً واسعاً لزيادة مقاومة النباتات للاملاح بواسطة طرق التربية والتحسين الوراثية .

3.2.9 ـ نقص العناصر في البيئات الطبيعية :

تدل الدراسات في كثير من مناطق العالم على ان نقص العناصر المعدنية يحصل في النباتات النامية بصورة طبيعية في بيئات متعددة مثل الغابات والمراعي الطبيعية وغيرها فقد وجد Martin و Berry (1970) في كاليفورنيا ان استعمال الاسمدة النتروجينية والفوسفاتية للمراعي الطبيعية قد أدى الى زيادة نمو نباتات المراعي الى ثلاثة أضعاف .

وبالنظر لاختلاف النباتات النامية في بيئة معينة في قابليتها على امتصاص العناصر المعدنية وكذلك في كفاءتها في الاستفادة من العناصر الممتصة ، فان هذين العاملين يلعبان دوراً في تنافس النباتات فيما بينها وبقاء النباتات المتكيفة فقط للظروف السائدة في هذه البيئة (1972, Epstein) .

4.2.9 ـ التأثير المتبادل بين النباتات وبيئتها بالنسبة للتغذية المعدنية :

يتأثر النبات بالنواحي الكيمياوية لفعالياته الفسيولوجية وكذلك فعاليات النباتات الأخرى المجاورة (وهذه التأثيرات الأخيرة تشمل التنافس التثبيطي للاحياء Allelopathy) . فالنبات يجب أن يستمر بالنمو في التربة التي يمتص منها الفوسفات ، النترات ، والعناصر الغذائية الأخرى ، والتي يضيف اليها ايضا الافرازات من جذوره ، والمغسولة من أوراقه ، وأخيراً الأوراق نفسها عندما تسقط . ولذلك هناك تأثير كيمياوي متبادل (أو قوي بين النبات ووسط نموه) .

وتكون العمليات المؤثرة على التربة نتيجة اضافة المادة العضوية من قبل النبات متعددة وتشمل تغير الرقم الهيدروجيني لمحلول التربة ، التثبيت المخلبي للمعادن الثقيلة ، زيادة نشاط الأحياء الدقيقة وبالتالي تحرير ثاني أوكسيد الكاربون الذي يزيد من تجوية معادن التربة ، وكذلك التأثيرات المهمة على الحالة الفيزياوية وقابلية مسك الماء من قبل التربة . يمكن أن تكون المواد العضوية المضافة بقايا نباتية صلبة ، مواد مختلفة ذائبة ، أو نواتج التحلل .

أما الحيوانات فأنها معتمدة على النباتات في غذائها بصورة مباشرة أو غير مباشرة وتؤثر على كيمياء التربة عن طريق الفضلات أو نواتج التحلل بعد الموت . وهذه التأثيرات للمادة العضوية تجعل العناصر الغذائية اكثر حركة ومتوفرة للامتصاص من قبل النبات وبنفس الوقت يزداد فقدها بالغسل .

تسبب ازالة المغذيات والعناصر المعدنية الأخرى للتربة من قبل النباتات تغيرات مهمة في كيمياء التربة . وبالرغم من أن جزءاً لابأس به من هذه العناصر يعود الى التربة في نفس الموقع ، فان جزءاً آخر يفقد من ذلك الموقع بطرق مختلفة خلال حياة النبات أو بعد موته . وبذلك تكون النباتات عاملاً مهماً في دوران العناصر الغذائية في البيئة (Rodin و Bazilevich, 1967) .

Glossary

دليل المصطلحات

A)	
Abscission	فصل جزء من النبات الكلي مثل تساقط الاوراق في الخريف
Absorption	امتصاص المغذيات
Accumulation	تجمع
Active absorption	الامتصاص الحيوي (النشط او الفعال)
Active sites	المواقع الفعالة على الانزيمات
Adsorption	الامدصاص
Aerobic	هوائية
Against concentration gradient	ضد انحدار التركيز
Aggregate culture	مزرعة الوسط الصلب الحبيبي
Aggregate structure	البناء الحبيبي
Alkaloides	القلويدات
Allelopathy	التنافس التثبيطي في الاحياء
Aminization	عملية تكوين الاحماض الامينية
Ammonification	عملية تكوين الامونيا
Anaerobic	لاهوائية
Antagonism	التضاد
Antibiotics	مضادات حيوية
Antitranspirants	مضادات النتح
Apoenzyme	بروتين الانزيم
Apoplast pathway	دخول المغذيات والماء عن طريق الفراغ الحر
Application	اضافة الاسمدة
Atmosphere	الميحط او الغلاف الجوي او وحدة الضغط الجوي
Atmospheric nitrogen fixation	تثبيت النتروجين الجوي
Autotrophic	ذاتية التغذية
Available	جاهز للامتصاص بواسطة جذور النبات
Availability	جاهزية العناصر المعدنية للامتصاص

B)

Band dressing	اضافة السماد بطريقة التلقيم في جور او حفر
Binding sites	مواقع ربط المادة المتفاعلة على الانزيم
Biosphere	المحيط الحيوي
Biological factor	العامل البيولوجي
Biological nitrogen fixation	تثبيت النتروجين الجوي بيولوجيا
Blackening	ظاهرة اسوداد درنات البطاطا المتسببة عن نقص عنصر البوتاسيوم .
Blotchy ripening	نضج غير متجانس أو عدم النضج في وقت واحد
Borax	مادة البوراكس وهي عبارة عن بورات الصوديوم ($Na_2B_4O_7.10H_2O$) والتي تحتوي على 11.36% بورون .
Bordeaux	خليط بوردو وهو عبارة عن خليط من كبريتات النحاس المائية المعروفة بالحجر الازرق مع الحجر الجيري .
Broad cast	اضافة السماد بطريقة النثر
Buffer	محلول منظم للـ (pH)
Buffering capacity	السعة أو القدرة التنظيمية
Beneficial elements	العناصر المفيدة او النافعة

C)

Capillary	الخاصية الشعرية
Carboxylation	تمثيل غاز CO_2 في عملية التركيب الضوئي
Charge separation	فصل الشحنات
Carriers	المركبات أو المواد الناقلة او الحاملة للمغذيات
Cation exchange capacity	سعة التبادل الكاتيوني
Cell potential	جهد الخلية
Chelate compounds	المواد او المركبات الخلبية
Chemical potential	الجهد الكيمياوي
Chemical weathering	التجوية الكيمياوية
Chemiosmotic theory	نظرية النفوذ أو التناضح الكيمياوي
Chernozem	تربة الشيرنوزيم السوداء
Chloroplast	البلاستيدة الخضراء
Chlorine choline chloride	كلوركولين كلورايد وتعرف أيضا بمادة الـ CCC ويطلق عليها تجاريا بمادة السايكوسيل Cycocel.

Coenzymes	العوامل المساعدة للانزيمات
Compost	الاسمدة العضوية المخمرة (الدّمن)
Contact exchange	التبادل بالتماس
Cortex	القشرة
Crude protein	البروتين الخام
Cycocel	السايكوسيل وهي عبارة عن مادة الـ CCC اي الكلوركولين كلورايد

D)

Decarboxylation	عملية فصل غاز CO_2 من المركبات العضوية
Dehydrogenation	فصل الهيدروجين
Denaturation	فقدان طبيعة البروتين الاصلية
Denitrification	عملية نزع النتروجين من النترات والذي يفقد ويتطاير الى الهواء الجوي على شكل غاز N_2
Depletion	سحب وتطلق عادة على سحب الايونات من الجذر نتيجة لتبادلها مع أيونات الهيدروجين وهي عملية ضارة بالنسبة للنبات حيث أنها تمثل سحب للايونات والتي سبق وان قام النبات بامتصاصها .
Dieback	الموت التراجعي
Differentiation	تتميز الخلايا حسب وظيفتها
Differentially permeable membrane	غشاء متمايز النفاذية
Diffusion	الانتشار
Diffusion theory	نظرية الانتشار
Diffusion pressure deficit	عجز الضغط الانتشاري
Distribusion coefficient (DC)	معامل التوزيع
Donnan equilibrium	توازن دونان
Downhill	انتقال المغذيات ونواتج التمثيل للاسفل
Dry matter	المادة الجافة للنبات

E)

Ecosphere	البيئة
Efficiency coefficie nt	معامل الاستفادة

Efficiency index	دليل الاستفادة
Efflux	مقدار مايخرج من العنصر الغذائي الممتص من المحلول الداخلي للنبات الى المحلول الخارجي (محلول التربة).
Electrical double layer	الطبقة الكهربائية المزدوجة
Electrical potential	الجهد الكهربائي
Electrical discharge	تفريغ كهربائي يتولد عنه شرارة كهربائية في الجو
Electrochemical potential	الجهد الكهروكيمياوي
Electrochemical potential gradient	الانحدار في الجهد الكهروكيمياوي
Emission	اطلاق الالكترونات
Endodermis	القشرة الداخلية
Enlargement	تمدد وتوسع الخلية او استطالتها
Environmental factors	العوامل البيئية
Equilibrium	توازن او اتزان
Erosion	التعرية
Essential amino acids	الاحماض الامينية الاساسية
Essential elements	العناصر الغذائية الضرورية للنبات
Exchange materials	مواد التبادل
Exchangeable processes	عمليات التبادل
Exanthema	مرض نقص النحاس على الحمضيات

F)

facilitated diffusion	انتشار الميسر
Field oscillation	حقل التذبذب للايونات
Foliar application	التسميد الورقي بالرش
Free energy	الطاقة الحرة
Free living bacteria	البكتريا الحرة المعيشة
Free space	الفراغ الحر .
Fresh weight	الوزن الطري
Fungicides	مبيدات الفطريات

G)

Genetic factors	العوامل الوراثية
Glycolysis	الكلايكوليسس هي عملية التحلل السكري اللاهوائي

Glycoprotein	بروتين سكري
Grass tetany	كزاز الحشيش على الحيوانات
Gravel cultures	مزارع الحصى
Gravity	الجاذبية الارضية
Ground respiration	التنفس العام
Growth period	فترة النمو
Gypsum ($CaSO_4 .2H_2O$	الجبس (كبريتات الكالسيوم المائية

H)

Herbicides	مبيدات الحشائش أو الادغال
Heterotrophic	غير ذاتية التغذية
Hoagland Solution	محلول هوكلاند (المحلول الغذائي للعالم هوكلاند)
Host plant	النبات العائل
Humus	الدبال
Humus theory	النظرية الدبالية
Hyphae	هيفا الفطر وجمعها هيفات
Hydration water	ماء التميؤ (الماء المحيط بايون العنصر المعدني)
Hydrolysis	التحلل المائي
Hydrogen bond	آصرة هيدروجينية
Hydrophilic	المحبة للماء (وهي عكس الـ Hydrophobic الكارهة للماء).
Hydrosphere	المحيط المائي
Imbibition	التشرب
Influx	مقدار مايمتص من العنصر الغذائي في داخل الخلايا
Inner solution	المحلول الداخلي
Intensity	الشدة (وهي تعبير عن تركيز العنصر)
Interaction	المنافسة بين الايونات اثناء امتصاصها من قبل النبات
Insecticides	مبيدات الحشرات
Ionep pump	مضخة الايونات
Iron Sesquesterine 330	الحديد الخلبي
Irreversible	غير متعاكس
Isomorphous replacement	الاحلال المتماثل

J)

Juvenile stage	مرحلة الشباب او الصبا

K)

Kinetic driving forces	قوى الطاقة الحركية
Krebs cycle	دورة كريبس

L)

Lachrymatory	التدمع أو الطعم الحريف للثوم والبصل والكراث وغيرها بسبب محتواها من الزيوت الطيارة .
Laterite	تربة اللاتريت القرميدية ذات النسجة الخشنة
Law of minimum	قانون العامل المحدد
Law of the limiting factor	قانون العامل المحدد
Law of optimum	قانون الحدود المثلى
Law of diminishing returns	قانون الغلة المتناقصة
Leaching	الغسل
Liebig patent manure	سماد ليبيك الاصطناعي
Lime	الحجر الجيري او كربونات الكالسيوم
Lime-stone chloresis	شجوب الكلوروفيل الكلسي
Lithosphere	الطبقة السطحية من قشرة الارض
Litmus paper	ورقة عباد الشمس
Lodging	عملية رقاد او اضطجاع النبات

M)

Macronutrients	العناصر الغذائية الكبرى
Mass flow	التدفق او الجريان او الانسياب او السريان الكتلي
Matric forces	القوى المرتبطة بالسطوح الصلبة والسائلة
Membrane	الغشاء
Membrane permeability	نفاذية الغشاء
Mesophyll	النسيج الاوسط أو المتوسط للورقة
Microelectrodes	الاقطاب الكهربائية الدقيقة
Micronutrients	العناصر الغذائية الصغرى

Middle lamella	الصفيحة الوسطى من الجذار الخلوي
Mineralization	عملية المعدنة أو التعدين

N)

Natural clay mineral	معدن الطين الطبيعي
Necrosis	النخر أو الموت الموضعي للخلايا
Nitrate reduction	اختزال النترات
Nutrients	المغذيات
Nutrient availability	جاهزية المغذي
Nutrient content	محتوى المغذي في النبات
Nutrient solution	المحلول المغذي
Nitrification	عملية النترتة (النترجة او التأزت)
Nitrogen fixation	تثبيت النتروجين
Non available	غير جاهز للامتصاص
Non selective	غير اختياري
Nucleotides	النكيليوتيدات (قاعدة عضوية نتروجينية + سكر خماسي + الفوسفات)

O)

Organic matter	المادة العضوية
Osmosis	التناضح او الازموزية
Osmotic pressure	الضغط الازموزي
Outer solution	المحلول الخارجي (محلول التربة)
Outer space	الفراغ الخارجي ويقصد به الفراغ الحر
Oxidative phosphorylation	الفسفرة التأكسدية

P)

Panicles	العناقيد
Parent material	مادة الاصل للتربة
Passive absorption	الامتصاص السلبي للمغذيات
Percentage sufficiency concept	النسبة المئوية للكفاية
Phloem	اللحاء

Phosphatide cycle	دورة الفوسفاتيد
Phosphorylation	عملية الفسفرة (مثل تكون الـ ATP)
Photophosphorylation	عملية الفسفرة الضوئية
Photosynthesis	عملية التمثيل او التركيب الضوئي
Physical weathering	التجوية الفيزياوية
Plant nutrition	تغذية النبات
Plant requirements	متطلبات أو احتياجات النبات (من المغذيات)
Plasmalemma	غشاء البلازما أو البلازما لما
Podzol	تربة البدزول الرمادية
Polymerization	عملية البلمرة (مثل بلمرة السكر)
Profile	مقد التربة
Prosthetic groups	العوامل او المجموعات المرافقة للانزيمات (المرتبطة)
Proteolysis	تحلل المواد العضوية النتروجينية الى احماض امينية
Purely physical systems	النظام الفيزياوي الصرف

Q)

Quantity	الكمية الكلية من العنصر الغذائي في التربة

R)

Rate of absorption	معدل الامتصاص
Redox potential	الجهد التأكسدي الاختزالي
Relative content	المحتوى النسبي من المغذيات في النبات
Reversible	متعاكس
Rigidity	صلابة الخلايا
Rhizobium bacteria	بكتريا الرايزوبيوم التي تعيش على جذور النباتات البقولية
Rhizosphere	المحيط الجذري وهي المنطقة المحيطة والقريبة من المجموعة الجذرية

S)

Salt or Anion Respiration	التنفس الملحي أو الانيوني
Sand culture	المزرعة الرملية
Selective	اختياري
Selectivity	اختيارية
Senescence	مرحلة الشيخوخة أو هرم النبات

Sesquioxides	الاكاسيد النصف ثلاثية
Silica gel	السليكا الهلامية (وهي موجودة على شكل SiO_2nH_2O)
Simple diffusion	الانتشار البسيط
Sink	مصرف أو مستقبل
Soil solution	المحلول الارضي (محلول التربة)
Soil microorganisms	احياء التربة الدقيقة أو المجهرية
Soil phase	الطور الصلب
Solubility coefficient	معامل أو حاصل الاذابة
Soluble minerals	المعادن الذائبة
Soluble salt minerals	املاح المعادن الذائبة
Solution culture	المزرعة الغذائية في المحلول
Solutes	المواد الصلبة الذائبة في المحلول
Specificity	التخصص
Stock solution	محلول التجهيز او التحضير مثل محلول هوكلاند
Structure	بناء التربة
Subirrigation	الري الجوفي
Suppression	ايقاف او منع
Surface tension	التوتر أو الشد السطحي
Suction pressure	ضغط المص وكان يستخدم سابقاً للتعبير عن جهد الخلية والذي يمثل أيضاً عجز ضغط الانتشار DPD (diffusion pressure deficit)
Symbiosis	تعايش او تكافل
Symbiotic bacteria	البكتريا التعايشية او التكافلية
Synthetic resins	مواد الراتنج المصنعة

T)

Tangent	ظل الزاوية
Tasseling	طور الازهار او التزهير
Texture	نسجة التربة
Topography	الطبوغرافيا (الارتفاعات والانخفاضات)
Trace elements	العناصر الاثرية
Transpiration	النتح

Transpiration coefficient	معامل النتح

U)

Uphill transport	انتقال المغذيات والماء الى الاعلى

V)

Vesicles	الحويصلات
Virgin	التربة البكر التي تزرع لاول مرة

W)

Water logged soil	التربة الغدقة
Water potential	الجهد المائي
Water culture	المزرعة المائية
Weathering	التجوية

X)

Xylem	الخشب

المراجــــع :

الفصل الاول.

1- Bergmann, W. 1983. Ernährungsstorungen bei Kulturpflanzen. VEB Gustav Fischer Verlag Jena, DDR.

2- Bodenheimer, F.S. 1958. The histroy of biology. An introduction. Wm. Dawson and Sons, Ltd., London.

3- Bowen, H.J.M. 1966. Trace elements in Biochemstry. Academic Press, London and New York.

4- Collander, R. 1941. Selective absorption of cations by higher plants. Plant. Physiol. 16: 691-720.

5- Drake, M. and J.M. White 1961. Influence of nitrogen on the uptake of calcium. Soil Sci. 91: 66–69.

6- Epstein, E. 1971. Mieneral nutrition on of plants: Principles and perspectives. John Wiley and sons, Inc. New York. London. Sydney. Toronto.

7- Evans, H.J. and sorger, G.J. 1966. Role of mineral elements with emphasis on the univalent cations. Ann. Rev. Plant Physiol. 17: 47-77.

8- Gabriel, M.L. and S. Fogel 1955. Great experiments in biology. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs.

9- Jenny, H. 1941. Factors of soil formation. A system of quantitative pedology. Mc-Graw-Hill Book Company, Inc., New York and London.

10- Mclean, E.O., Adams, D. and Franklin, R.E. 1956. Cation exchange capacities of plant roots as related to their nitrogen contents. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 20: 345-347.

11- Russel, E.J. 1961. Soil conditions and plant growth. 9th ed. John Wiley and Sons, Inc., New York.

12- Scharrer, K. and K. Mengel 1960. Aufnahme and Verteilung der Kationen Ca, Mg, K and Na in der Pflanze bei varierter K-und Mg-Düngung sowie bei extraradikaler k-Versorgung. Plant and Soil 12:377.

13- Schreiber, R. 1949. Effect of magnesium on the yield and the nutrient uptake of K_2O and MgO by cereals. Z.Pflanzenernähr. Düng. Bodenk. 48, 37-64.

14- Smith, P.F. 1962, Mineral analysis of plant tissues. Ann. Rev. Plant Physiol. 13:81-108.

15- Wilson, P.W. 1957. On the sources of nitrogen of vegetation; etc. Bact. Rev. 21: 215-226.

الفصلين الثاني والثالث

1- Acevedo, E., J.H.C. Hsiao and D.W. Henderson 1971 Immediate and subsequent growth response of maize to changes water status. Plant physiol. 48: 631-636.

2- Asher, C.J. and P.G. Ozanne 1967. Growth and potassium content of plants in solution cultures maintained at constant potassium concentrations. Soil Sci. 103: 155-161.

3- Asher, C.J., P.G. Ozanne and J.F. Loneragan 1965. Amethod for controlling the ionic environment of plant roots. Soil Sci. 100: 149-156.

4- Barber, D.A. 1968. Microorganisms and the inorganic nutrition of higher plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 19: 71-88.

5- Bardzik, J.M., H.V. jr. Marsh and J.R.Havis 1971. Effects of water stress on the activities of three enzymes in maize seedlings. Plant Physiol. 47: 828-831.

6- Beardsell, M.F. and D. Cohen 1975. Relationship between leaf water status, abscisic acid levels, stomatal resistance in maize and sorghum. Plant Physiol. 56: 207-212.

7- Bell, O.T. and R.H. Hageman 1971. The role of Light in nitrate metabolism in higher plants, p. 85-113. In: Photophysiology. Vol. Vll. Ed. A.C. Giese, Academic Press. London. 1972.

8- Bergerson, F.J. and E.H.Hipsley 1970 Presence of nitrogen fixing bacteria in intestines of man and animals. J. Microbiol. 60: 61-65.

9- Bonner and Galson 1952 Principles of Plant physiology. in: J.Janick. R.W. Schery, E.W. Woods, and N.W. Ruttan (1969) Plant Science Free man Co. San Fransico.

10- Boyer, J.S. 1968. Relationship of water potenial to growth of leaves. Plant physiol. 43: 1056-1062.

11- Boyer, J.S. 1970. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf water potentials. Plant physiol. 46: 233-235.

12- Brevedan, E.R. and H.F Hodges 1973. Effects of moisture deficits on ^{14}C translocation in corn (Zea mays L.). Plant Physiol 52: 436-439.

13- Buchner, A. and O. Sturm 1971. (G) Fertilizer application in intensive agriculture, p. 156. 3rd ed. DLG. Verlag, Frankfurt/Main

14- Burges, A. and F. Raw, eds. 1967. Soil Biology. Academic Press, London and New York.

15- Cleland, R.E. 1967. A dual role of turgor pressure in auxin-induced cell elongation in Avena coleoptiles. Planta 77: 182-191.

16- Decau, J. and B. Pujol 1973. Comparative effects of irrigation and nitrogen fertilizer on the qualitative and quantitative production of different maize cultivars. Ann. agron. 24: 359-373.

17- Dhindsa, R.S. and R.E. Cleland 1975. Water stress and protein synthesis. Plant physiol. 55: 778-781.

18- Dittmer, H.J. 1937. A quantitative study of the roots and root hairs of a winter rye plant (Secale cereale), Amer. J. Bot. 24: 417-420.

19- FAO. 1984. Fertilizer and plant nutrition guide. FAO, fertilizer and plant nutrition Bull. 9.

20- Fulton, J.M. 1967. Stomatal aperture and evapotrans-piration from field grown potatoes. Canad. J. Plant Sci. 47: 109-111.

21- Gale, J. and R.M. Hagan 1966. Plant antitranspirants. Ann. Rev. Plant physiol. 17: 269-283.

22- Gilmour, C.A.A. and O.N. Allen, eds. 1965. Microbiology and soil fertility. Oregon State University Press, Corvallis.

23- Gorham, E. 1961 Factors influencing supply of major ions to inland waters, with special references to the atmosphere. Geol. Soc. Am. Bull. 72; 795-840.

24- Gray, T.R.G. 1967. Stereoscan electron microscopy of soil microorganisms. Science 155: 1668-1670.

25- Hall, N.S., W.F. Chandler, C.H.M. Van Bavel, P.H. Reid and J.H. Anderson (1953). A tracer technique to measure growth and activity of plant root systems. North Carolina Agric. Expt. Sta. Tech. Bull. 101: 1-40.

26- Hewitt, E.J. 1966. Sand and Water culture methods used in the study of plant nutrition. Revised 2nd ed. Commonwealth Bureau of Horticulture and plantation Crops East Malling. Tech. Communication No. 22.

27- Hoagland, D.R. and D.I. Arnon 1950. The water culture method for growing plants without soil. Calif. Expt. Sta. Circ. 347.

28- Holley, T. 1966. Freezing point depression. Osmotic Pressure, and Conductivity of plant Sap. In: E. Epstein, 1972. Mineral Nutrition of Plants; Principles and Perspectives. Wiley New York.

29- Hsiao, T.C. 1973. Plant response to water stress. Plant physiol. 24; 519-570.

30- Hsiao, T.C., E. Acevedo, E. Fereres and D.W. Henderson 1976. Water stress, growth and osmotic adjustment. Phil. Trans. Royal Soc. London 273: 479-500.

31- Jenny, H. 1941. Factors of soil formation. A system of quantitative pedology. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York and London.

32- Johnson, C.M., P.R. Stout, T.C. Broyer and A.B. Carlton 1957. Comparative chlorine requirements of different plant species. Plant and soil 8: 337-353.

33- Marc, J. and J.H. Palmer 1976. Relationship between water potential and leaf inflorescence initiation in Helianthus annuus. Physiol. Plant. 36: 101-104.

34- McMichael, B.L., W.R. Jordan and R.D. Powell 1972. An Effect of water stress of ethylene production by intact cotton petioles. Plant Physiol. 49: 658-660.

35- Mitscherlich, E.A. and H. Beutelspacher 1938. Investigations into water consumption of some crops and the water economy of a natural soil profile. Bodenk. u. Pflanzenernähr. 9/10: 337-395.

36- Mizrahi, Y., A. Blumenfeld and A.E. Richmond 1970. Abscisic acid and transpiration in leaves in relation to osmotic root stress. Plant physiol. 46: 169-171.

37- Norman, A.G. 1961. The biological environment of roots. In: Growth in living Systems. M.X. Zarrov, ed. Basic Books, Inc., New York. P. 653-604.

38- Padarariu, A,C,T, Horovitz, R. Paltineanu and Negomireanu 1969. On the relationship between soil moisture and osmotic potential in maize and sugar beet plants. Plant. physiol. 22; 850-860.

39- Parkinson, D. 1967. Soil microorganisms and plant roots. In: Soil Biology. A. Burges and Raw, eds. Academic Press, London and New York. P. 449-478.

40- Reisenauer, H.M. 1966. Mineral nutrients in soil solution. In: Environmental Biology. P.L. Altman and D.S. Dittmer, eds. Federation of American Scienties for Experimental Biology. Bethesda. P. 507-508.

41- Reisenauer, H.M. 1969. A technique for growing plants at controlled levels of all nutrients. Soil Sci. 108; 350-353.

42- Roemer, T. and F. Scheffer 1959. Texbook of Agronomy, 5. ed., P. 149. Verlag P. Parey. Berlin and Hamburg.

43- Singh, T.N., L.G. Paleg and D. Aspinall 1973. Stress metabolism 111. Variations in response to water deficit in the barley plant. Austr. J. Biol. Sci 26; 65-76.

44- Slatyer, R.O. 1967. Plant-Water Relationships. Academic Press, London and New York.

45- Starkey, R.L. 1958. Interrelations between microorganisms and plant roots in the rhizosphere. Bact. Rev. 22; 154-172.

46- Stout, P.R. and R. Over-Street 1950. Soil chemistry in relation to inorganic nutrition of plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 1: 305-342.

47- Trench, R.K., R.W. Greene and B.G. Bystrom 1969 Chloroplasts as functional organelles in animal tissues. J. Cell, Biol. 42: 404-417.

48- Waggoner, P.E. and I. Zelitch 1965. Transpiration and stomata of leaves. Science 150: 1413-1420.

49- Weaver, J.E. 1968. Prairie plants and their environment. University of Nebraska Press, Lincoln.

50- Weaver, J.E. and R.W. Darland 1949. Soil-root relationships of certain native grasses in various soil types. Ecol. Monographs. 19: 303-338.

51- Went, F.W. and N. Stark 1968b. Mycorrhiza. Bio-Science 18: 1035-1039.

52- Wiebe, H.H. and H.A. AL-Saadi 1976. Matric bound water of water tissue from succulents. Plant Physiol. 36; 47-51.

53- Williams, D.E. 1961. The absorption of potassium as influenced

by its concentration in the nutrient medium. Plant and Soil 15: 387-399.

الفصل الرابع

1- Boguslawski, E. Von and R. Schildbach 1969. Effect of sites. Years, fertilizer application and irrigation on quality and yield level of sugar beets. Zucker 22: 123-132.

2- Brevedan, E.R. and H.F. Hodges 1973. Effects of moisture deficits on ^{14}C translocation in corn (Zea mays L.). Plant physiol. 52: 436-439.

3- Bronner, H. 1974. Relation between the easily soluble nitrogen in soils and the development of beets. landw. Forsch. 30/11: Sonderh., 39-44.

4- Effmert, E. 1967, The effect of fertilizer application on the phosphate content of potato starch (I). Effect of fertilizer application on the ratio of amylose/amylopectin in potato starch. Thaer Archiv. II, 745-753, 755-759.

5- Evans. L.T. and H.M. Rawson 1970. Photosynthesis and respiration by the flag leaf and components of the ear during grain development in wheat. Aust. J. Biol. Sci. 23: 245-254.

6- Forster, H. 1973, Effect of the potassium and nitrogen supply to plants on yield components and yield formation of cereals. Landw. Forsch. 26: 221-227.

7- Forster, H. 1970: Effect of some interruptions in the nutrient supply on the development of yield and quality characteristics in sugar beets. Landw. Forsch. 25/11: Sonderh. 99-105.

8- Gorlitz, H. 1966. Effect of fertilizer application on properties of potato starch. In: Mineral stoff versorgung von pflanze and Tier, S. 93-100, Tagungsberichte Nr. 85, Dt. Akad. d. Landw. Wiss. Berlin.

9- Haeder, H.E. and K. Mengel 1972. Translocation and respiration of assimilates in tomato plants as influenced by K nutrition. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 131: 139-148.

10- Hehl, G. and K. Mengel 1972. The effect of varied applications of potassium and nitrogen on the carbohydrate content of several forage crops. Landw. Forsch. 27/11 : Souderh., 117-129.

11- Koch, K. and K. Mengel 1972. Effect of a varied potassium

nutrition on the uptake and incorporation of Labell nitrate by young tobacco plants (Nicotiana tabacum L.). J.Sci. Fd Agric. 23: 1107-1112.

12- Holliday, R. 1976. The efficiency of solar energy conversion by the whole crop. In: Duchman, A.N., J.G.W. Jones and E.H. Roberts: food Production and Consumption. P. 127-146. North Holland Publishing Company, Amsterdam, Oxford 1976.

13- Khan, A.A. and C.R Sagar 1967. Translocation in tomato: The distribution of products of photosynthesis of the leaves of a tomato plant during the phase of food Production. Hort. Res. 7: 60-69.

14- Kliewer, W.M. 1964 Influence of environment on metabolism of organic acids and carbohydrates in Vitis vinifera. I. Temperature. Plant Physiol. 39: 869-880.

15- Koblet, W. 1969 Translocation of assimilates in grapes and the effect of the leaf area on the Yield and quality of grapes. Die Weinwissenschaft 24: 277-319.

16- Krauss, A. and H. Marschner. 1971. Influcence of the nitrogen nutrition of potatoes on tuber induction and tuber growth rate. Z. pflanzenernähr. Bodenk. 128: 153-168.

17- Lachover, D.O. and I. Arnon 1966. Observations on the relationship between heavy potassium deficiency and poor quality of several agricultural Products of major crops . In: Potassium and the quality of agricultural products, p. 439-464. Proc. 8th Congr. Intern. Potash Institute, Berne.

18- Mengel, K. and H.E. Haeder 1974. Photosynthesis and translocation of photosynthates during grain filling in wheat supplied with different K Levels. Z. Acker u. Pflanzenbau 140: 206-213.

19- Mithorpe, F.L., and J. Moorby 1969. Vascular transport and its significance in plant growth. Ann. Rev. Plant physiol. 20:117-138.

20- Mulder, E.G. 1956. Effect of the mineral nutrition of potato plants on the biochemistry and the physiology of the tubers. Neth. J. Agrib. Sci. 4: 333-356.

21 Pätzold, C. and M. Dambroth 1964. Sensitivity to injury. Der Kartoffelbau. 15: 291–292.

22- Primost, E. 1968. (G) The influence of fertilizer application on the quality of wheat. Landw. Forsch. 22: Sonderh; 149–157.

23- Schäfer, P. and M. Siebold 1972. Influence of increasing potash application rates on yield and quality of the spring wheat "Kolibri" from a potash fixing Location. Bayer. Landw. Jahrb. 49: 19–39.

24- Schildbach, R. 1972. Relationships between fertilizer application to brewing barley and the beer quality. 2. Acker-u. pflanenbau 136: 219–237.

25- Schmalfuss, K. 1963. Plant Nutrition and soil Science. 9th ed. P. 160. S-Hirzel-Verlag. Stuttgart.

26- Terman, G.J. 1950. Effect of rate and source of potash on yield and starch content of potatoes. Maine Agric. Expt. Sta. Bull. 581: 1–24.

27- Warren-Wilson, J. 1969. Maximum Yield potential. In: Transition from Extensive to Intensive agriculture with Fertilizers, P. 34–56. Proc. Vilth Collog. Intern. Potash Institute. Berne.

28- Watanabe, H. and S. Yoshida 1970. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium on photophosphorylation in rice in relation to the photosynthetic rate of single Leaves. Soil Sci. Plant N. 16: 163–166.

29- Winner, C. 1968. Questions concerning the choice of cultivars and fertilizer application in relation to beet quality in modern sugar beet cultivation. Zucker 21: 521–530.

الفصل الخامس

1- Arnon, D.I. 1959. Phosphorus and the biochemistry of photosynthesis. Agrochimica. 3. 108–139.

2- Arnon, D., F. Whatley, and M. Allen 1954. Photosynthesis by isolated chloroplasts. II Photosynthetic phosphorylation, the conversion of light into phosphate bond energy. Am. chem. Soc. 76: 6324.

3- Barber, S.A. 1979. Growth requirements of nurients in relation to demand at the root surface. In: The Soil-Root. interface (J.L.

Harley and R. Scott Russell, eds.) P. 5–20. Academic Press London, New York. San Francisco 1979.

4– Bennet- Clark, T.A 1956. Salt accumulation and mode of action of auxin: a preliminary hypothesis. In. R.L. Wain and F. Wightman, eds. chemistry and mode of action of plant Growth Substances. London: Butterworth.

5– Biddulph, O. 1941. Diurnal migration of injected radiophosphorus from bean leaves Am. J. Bot. 28: 348.

6– Biddulph, O. 1959. Translocatinon of inorganic solutes. In: F.C. Steward, ed., Plant physiology. New York: Academic Press.

7– Bidduluph, O. et al 1958. Circulation patterns for P 32, S 35, and Ca 45 in the bean plant. Plant Physiol. 33: 293.

8– Cheesman, J.M and J.B. Hanson 1979 .Energy linked potassium influx as related to cell potential in corn cells. Plant. Physiol. 64:323–327.

9– Conn, E.E and P.K. Stumpf 1967. Outine of Biochemistry. John Wiley Co. New York.

10– Cram, W.J. 1973. Chloride fluxes in cells of the isolated root cortex of Zea mays. Aust. J. biol. Sci. 26: 757–779.

11– Dainty, J. 1962. Ion transport and electrical potentials in plant cells. Ann. Rev. plant physiol. 13: 379–402.

12– Davis, R.F. and N. Higinbotham 1976. Electrochemical gradients and K^+ and Cl^- fluxes in excised corn roots. Plant Physiol. 57: 129–136.

13– Devlin, R.M., and F.H. Witham 1983. Plant Phyiology. Boston: Willard Grant press.

14– Epstein, E. 1972. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. John Wiley and Sons, inc, New York, London, Sydney, Toronto.

Epstein, E. and J.E.Leggett 1957. Mineral matabolism. In. J. Bonner and J. E. Varner. 1965. Plant Biochemistry. Academic Press. New York.

15– Epstein, E. 1966. Dual pattern of ion absorption by plant Cells and by plants. Nature. 212: 1324-1327.

16– Epstein, E. and D.W. Rains 1965. Carrier mediated cation

transport in barley roots. Kinetic evidence for a spectrum of active sites. Proc. Nat Acad. Sci. 53; 1320-1324.

17- Epstein, E. 1956. Mineral nutrition of plants. mechanisms of uptake and transport. Ann. Rev. Plant Physiol. 7:1

18- Epstein, E. 1955. Passive permeation and active transport of ions in plant roots. Plant. Physiol. 30:529.

19- Epstein, E. and C.E. Hagen 1952. A Kinetic study of the absorption of alkali cations by barley roots Plant Physiol. 27: 457-474.

20- Etherton, B. 1963. Relationship of cell transmembrane electropotential to potassium and sodium accumulation ratios in aot and pea seedlings Plant Physiol. 38: 581-585.

21- Etherton, B. and N. Higinbotham 1961. Transmembrane potential measurements of cells of higher plants as related to salt uptake. Science 131: 409-410.

22- Gerson, D,F. and R.J. Poole 1972. Chloride accumulation by mung bean root tips. A low affinity active transport system at the plasmalemma. Plant Physiol. 50: 603-607.

23- Handley, R., and R. Overstreet 1955. Respiration and salt absorption by excised barley roots. Plant Physiol. 30:418.

24- Higinbotham, N. 1973. Electropotentials of plant cells. Ann. Rev. Plant Physiol. 24:25.

25- Hoagland, D.R. 1948. Lectures on the inorganic nutrition of plants, P. 48-71. Chronica Botanica Company Waltham, Mass. USA.

26- Hodges, T.K. 1973. Ion absorption by plant roots. Advances in Agronomy 25: 163-207.

27- Hodges, T.K., R.T. Leonard, C.E. Bracker, and T.W. Keenan 1972. Purification of an ion stimulated adenosine triphosphate from plant roots: association with plasma membranes. Proc. Nat. Acad. Sci. USA 29: 3307-3311.

28- Hopkins, H.T. 1956. Absorption of ionic species of Orthophosphate by barley roots. Effects of 2,4 dinitrophenol and Oxygen tension Plant Physiol. 31: 155-161.

29- Jacobson, J.A.,L. Overstreet, R. King, and H.M. Handley 1950. A

study of potassium absorption by barley roots. Plant Physiol. 25: 639-647.

30- Jenny, H. 1951. Contact phenomena between absorbents and their significance in plant nutrition. In E., Truog, ed. Mineral Nutrition of plants. Madison: University of Wisconsin Press.

31- Jenny, H. and R. Overstreet 1939. Cation interchange between plant roots and soil colloids. Soil Sci. 47:257.

32- Jeschke, W.D. 1970. The influx of potassium ions into Leaves of Elodia densa, dependence on light, on the potassium concentration and on the temperature. Planta 91: 111-128.

33- Kahn, J.S. and J.B. Hanson 1957. The effect of calcium on potassium accumulation in corn and soybean roots. Plant Physiol. 32: 312-316.

34- Kirkby, E.A. 1969: Ion uptake and ionic balance in plants in relation to the form of nitrogen nutrition In: I.H. Rorison: Ecological aspects of the Mineral Nutrition of Plants, P. 215-235. British Ecological Society, Symposium No. 9.

35- Leggett, J.E. and E. Epstein 1956. Kinetics of sulfate absorption by barley roots. Plant. Physiol. 31: 222-226.

36- Lundegordh, H. 1954. Anion Respiration. The experimental basis of the theory of absorption, transport and exudation of electrolytes by living cells and tissues. Symp. Soc. Exp. Biol. 8: 262.

37- Lundegordh, H. and Burstrom 1933. Untersuchungen über die Salzaufnahme der pflanzen. III. Quantitative Beziehungen zwischen Atmung and Anionenaufnahme. Biochem. Z. 261:235.

38- Luttge, U. and G.G. Laties 1967. Selective inhibition of Absorption and long Distance Transport in Relation to the Dual Mechanisms of Ion Absorption in Maize Seedlings. Plant Physiol. 42: 181-185.

39- Luttge, U. and G.G. Laties 1966. Dual Mechanisms of Ion Absorption in Relation to long Distance Transport in Plants. Plant Physiol. 41: 1531-1539.

40- Marschner, H. and K. Mengel 1966. The effect of Ca and H ions at different metabolic conditions on the membrane permeability of young barley roots. Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk. 112: 39-49.

41- Marschner, H., R. Handley, and R. Overstreet 1966. Potassium loss and changes in the fine structure of corn root tips plant Physiol. 41: 1725-1735.

24- Mason, T.G., E.J. Maskell, and E. Phillis 1936. Concerning the independence of solute movement in the phloem. Ann. Bot. 50: 23.

43- Mason., T.G., and E.J. Mashell 1931 Preliminary observations on the transport of phosphorus, potassium, and calcium. Ann. Bot. 45: 126.

44- Mengel, K. and M. Helal 1967. The effect of the exchangeable Ca^{2+} of young barley roots on the flux of K^+ and phosphate-an interpretation of the Viets effect. Z. pflanzen physiol. 57: 223-234.

45- Mengel, K. and E.A. Kirkby 1982. Principles of plant nutrition. 3rd. Ed. Int. Potash institue Bern, Switzerland.

46- Michael, G. 1959. The selection potential of plants in mineral uptake. Dt. Akad. d. Landw. Wiss. VIII, Heft 4, Berlin.

47- Michael, G. and H. Marschner 1958. Phosphate exchange at root surface. Z. Bot. 46: 37-52.

48- Mitchell, P. 1978. Promotive chemiosmotic mechanisms in oxidative and photosynthetic Phosphorylation. Trends in Biochemical Sciences 3: N58-N61.

49- Mitchell, P. 1966. Chemiosotic coupling in oxidative and Photosynthetic phosphorylation. Biol. Rev. 41: 445-502.

50- Müller, P. and D.O. Rudin 1967. Development of K^+-Na^+ distribution in experimental biomoleclular lipid membranes by macrocyclic antibiotics, Biochem. Biophys. Res. Common. 26: 394-405.

51- Persson, L. 1969. Labile: Bound Sulfate in Wheat. Roots. In: E. Epstein 1972. Mineral Nutrition of Plants. Principles and perspectives. Wiley New York.

52- Pitman, M.G. 1965. Ion exchange and diffusion in roots of Hordeum vulgare. Aust. J. biol. Sci. 18: 541-546.

53- Poole, R.L. 1978. Energy coupling for membrane transport. Ann. Rev. Plant physiol. 29: 437-460.

54- Ratner, A. and B. Jacoby. 1976. Effect of K^+, its counter anion, and pH on sodium efflux of barley root tips. J. Exp. Botany 27: 843-852.

55- Fischer, J.D., D. Hansen, and T.K. Hodges 1970. Correlation between ion fluxes and ion stimulated adenosine triphosphatase activity of plant roots. Plant physiol. 46: 812-814.

56- Robertson, R.N., M.J. Wilkins, and D.C. Weeks 1951. Studies in the metabolism of plant cells. IX. The effects of 2,4-dinitrophoenl on salt accumulation and salt respiration. Australian J.Sci. Res. B_4: 248.

57- Russell, R.S. and D.A Barber 1960. The erlationship between salt uptake and the absorption of water by intact plants. Ann. Rev. Plant Physiol. N. 127.

58- Spanswick, R.M. and E.J. Williams 1964. Electrical potentials and Na, K and Cl concentrations in the vacuole and cytoplasm of Nitella translucens. J. Exp. Bot. 55: 193-200.

59- Staveninck, R.F.M. Van 1965. The significance of calcium on the apparent permeability 'of cell membrane and the effects of substitution with other divalent ions. physiol Plant. 18: 54-69.

60- Ulrich, A. 1941. Metabolism of non-volatile organic acids in excised barley roots as related to cation-anion balance during salt accumulation. Amer. J.Bet. 28: 523-537.

61- Viets, F.G. 1944. Calcium and other polyvalent cations as accelerates of ion accumulation by exised barley roots. Plant. Physiol. 19: 466-480.

الفصل السادس

1- Albrecht, W.A. 1970. plants protected by fertile soil. J. appl. Nutrition 22: 23-32.

2- Andreae, B. 1971. Rationalisierung des Braugerstenbaues durch Fruchtfolge - und Dungüngsmassnahamen Kali-Briefe, fachg. 15, 9. Folge: 1-3.

3- Anonym 1971. Hüttenkalk erhöht die Standfestigkeit des Getreides, ein Einfluss seiner Kieselsäure : und : Hüttenkalk gegen Lagergetreide und Mehltaubefall. Hüttenkalk-nitt. 38. Folge, 1-6 und Ref. Feldwirt-schaft 12:190.

4- Antonova, G.G. 1975. Bewertung der Widerstands fähigkeit von Kohlsorten gegen Hernie anhand des Koeffizienten der

Borverteilung in den pflanzen Zap. Lenm. gradsk. Sel 'skochoz. 227 (1974): 16-21: Ref. Landw. Zentralbl. 2(1975): 11-324.

5- Antonova, G.G. 1971. Level of B, Cu, and Mn in the Learesand roots of white cabbage shoots as a function of the resistance of the variety clubroot. Zap. Leningrad Sel 'skochoz. Inst. 160: 42-48.

6- Atkinson, J.E.Jackson, R.O. Sharples and W.M. Ed. waller 1980. Mineral nutrition of fruit trees. Butterworths. London. Boston, Sydney. Durban. Toronto.

7- Bains, S.S., and J.S. Jhooty; 1978. Relationship between mineral nutrition of muskmelon and development of downy mildow caused by Pseudoperonospora cubensis. Plant and Soil 49:85-90.

8- Baule, H. 1975. Wie wirkt sich die Düngung auf die Widerstandskraft der Waldbäume aus? Forstpfl. forsts. 15: 2-12.

9- Baule, H. 1969. Zusammenhänge zwischen Nährstofftgehalten und Krankheiten bei Forstpflanzen. Landw. Forsch. 23: Sonderh., 92-104.

10- Borys, M.W. 1966. Einfluss der H_2PO_{4-} Ernährung von Kartoffeln and die Resistenz ihrer Blätter gegen Phytophtora infestans. de By. Phytopath. Z. 57: 301-309.

11- Carr, A.J.H., and J.L. Stoddart 1963. The ameliorating effect of Zinc on symptoms of phyllody virus (strawberry green-petal) in white clover. Ann. appl. Biol. 51: 259-268.

12- Chaboussou, F. 1972. Die Rolle des Kaliums und des Kationen-gleichgewichtes fur die widerstands fähigkert von pflanzen gegen Krankheiten. Intern. Kali-Briefe. 23, 39, Folge: 1-10.

13- Combrink, N.J.J., K.P. Prinsloo, and A.C. Jandrell 1975. The effect of calcium, phosphate and boron on the keeping quality and quality determining tuber characteristics of potatoes. Agroplantae 7: 81-89.

14- Darwinkel, A. 1980a. Grain production of winter wheat in

relation to nitrogen and disease. I. Relationship beteen nitrogen dressing and yellow rust infection. Acker-u.pflanzenb. 149: 299–308.

15- Darwinkel, A. 1980b: Grain production. II. Relationship between nitrogen dressing and mildew infection. Acker-u. pflanzenb 149: 309-317.

16- Finck, A. 1970a. probleme der Nährstoffversorgung von Boden und pflanzen bei hohen Ertragen. Schriftenr. Landw. Fak. Univ. Kiel 47: 159–170.

17- Finck, A. 1970b .Beziehungen zwisch pflanzenernährung und Boden in der ariden und semiariden Zone. Proc. 9. Kongr. Intern. Kali Inst. Antibes, 201–209.

18- Fleischel, H. 1967. Phosphatdüngung, Ertragund Qualitat im Gemüsebau. Phosphorsäure 27: 88–100.

19- Fuchs, W.H., und F. Grossmann 1972 Ernährung und Resistenz von Kulturpflanzen gegnuber Krankheitserregern und Schädlingen. In: Handb. Pflanzenern u. Düngung Bd. 1 zweite Hälfte Durchführu ngsverordnung zum landeskulturgesetz Reinhältung der Luft vom 17. 1. 1973. Gesetzbl. d. DDR. Teil 1. Nr. 18. 24. 4. 1973.

20- Gerath, H., und B. Pett 1971. Die Bedeutung der optimalen Borversorgung der kartoffeln fürihre Widerstandsfähigkeit gegen Krankheiten Saat. u. pflanzengut. 12: 134–135.

21- Graham, R.D. 1980a. susceptibility to dowdery mildew of wheat plants deficient in copper. Plant and Soil 56: 181–185.

22- Grossmann, F. 1970. Einfluss der Ernährung der pflanzen auf den Befall durch Krankheitserreger und Schädlinge. Landw. Forsch. 25/ 1: Sonderh., 79–91.

23- Grover, R.K. 1967. Effect of some inorganic salts on wheat stem rust. Naturwissensch. 54: 350.

24- Herlihy , M., and P.J. Carroll 1969. Effects of N, P and their interactions on yield, tuber blight and quality of potatoes.J.Sci. Food and Agric. 20: 513–517.

25- Hernando, V., and M. Casado, M. 1975. Einfluss der Düngung auf die Resistenz de Erdbeersorte "Tioga" gegen die durch den

Pilz Phytophthora fragariae(Herzfäule) verursachte krankheit. Proc. 3. Europ. u. Medit. Budapest: 913: 919.

26- Ibenthal, W.D. 1982. lösliche Inhltsstoffe in der Epidermis von drei Gerstensorten unterschiedlicher Anfälligkeit Erysiphe graminis f. sp. hordei Kali-Briefe 16 : 215-221.

27- Jordan, C.W., C.E. Evans, and R.D. Rouse 1966. Coastal Bermudagras response to applications of p and K as related to P and K levels in the soil. Proc. Soil. Sci. Soc. Amer. 30 : 477-480.

28- Judel, G.K., und P.W. Kurten 1962. Beeinflusst Bor Ertrag und Schorfbefall bei Kartoffeln? Kartoffelbau 13: 1-3.

29- Kaila, A., and P. Hänninen 1961: Response of winter rye to hyperphosphate and superphosphate. J.Sci. Agr. Soc. Finland 33, 39.

30- Katalymov,M.W. 1969. Mikronährstoffe-Mikronährstoffdungung. VEB. Deutscher Landwirtsverlag. Berlin.

31- Kazuo Yamafuji 1964. Nutritional factors in virus formation. Crosby lockwood and Son Ltd. London.

32- Led, H.O. 1970c. Beeinflussung Gehalte an Hauptnährstoffen in in Möhrenpflanzen durch Virusbefall. Phytopath Z. 67 : 183-186.

33- Marschner, H. 1969. Mineralstoff wechsel. Forstschr. Botanik 31: 87-99.

34- Marx, D.H. 1972. Ectomycorrhiza as biological deterrents to pathogenic root infections. Ann. Rev. Phytopathol. 10: 429-454.

35- McGregor, A.J., and G.C.S. Wilson 1966. The effect of application of manganese sulphate to a neutral soil upon the yield of tubers and the incidence of common scab in potatoes. Plant and Soil 20 ، 59-64.

36- Mechmanov, M. 1967. Einfluss von Zink und Molybdän auf die Widerstandsfähigkeit der Baumwollpflanze gegen die Verticllium-Welkekrankheit. Uzbek. Biology. Z. 47-50: Ref. : Pflanzenern. u. Bodenkde. 122 : 63.

37- Meyer, J.A. 1970. Bodengebundene Krankheiten und Düngerwirkung. Intern. Kali-Briefe, Fachg. 6, Folge 33: 26-27.

38- Millikan, D.F., and, E.E. Pickett 1963. Biochemical patterns in leaf tissue from virusinfected and disease-free apple. II Some

cation effects, phytopath. Z. 59: 89-91.

39- Mortvedt, J.J., K.C. Berger, and H.M.Darling 1963. Effect of manganese and copper on the growth of Streptomyces scabies and the incidence of potato scab. Amer. Potato J. 38: 96-102.

40- Mudich, A. 1967. Einfluss der an Superphosphat gebundenen Spurenlemente auf die Widerstands fähigkeit der Kartoffelknollen gegen phytophthora infestans. Acta. Phytopathol. Acad. Sci. Hung. Nr. 4 : 295-302 : Ret: Landw. zentralbl. (1971). 2:2-99/11.

41- Munson, R.D. 1970. Das Gleichgewicht zwischen Stickstoff and Kalium-eino Kritische Beurteilung. Intern. Kali-Briefe, Fachg. 16,50. Folge : 1-25.

42- Novikova, T.N. 1964. Eingluss der Mikroelemente auf die Entwicklung und Resistenz von Sommerweizen gegen Braunrost. Trud. Charkovsk. erd. Trudov. Krasn. Znam. sel'skoch. Inst. i.V.V.Dokucaeva. kiev. 43: 109-117.

43- Olsen, R.V., and F.,E. Koehler 1968. Fertilizer use on small grain. In. Changing patterns in fertilizer use. Publ. Soil. Sci. Soc. Amer. Inc. Madison, Wisc., USA: 253-271.

44- Perrenoud, S. 1977. Potassium and plant health. Publ. Int. Potash. In st. Bern. Schweiz.

45- Poljakov, P.V. 1970. Krankheits resistenz und Mikroelemente Zavctina rastenij 15 :52.

46- Primavesi, A. 1973. Correct use of Fertilizers in the humid tropics and subtropics and its effect on I. Plant resistance to diseases. II Crop production. Servaria pont. ,Acad. Sci. 38 : 139-177.

47- Primavasi, A. 1069. Irrweg und Ausweg. Z. angew. Ökologie Nr. 56: 1-4.

48- Quelhas Dos Santos, J. 1979. Das Kalium und der Virus der Blattrollkrankheit der Kartoffelstande. Intern. Kali-Briefe, Fachg. 23, 50. Folg: 1-4.

49- Rahimi, A. 1972. Kupfermangelsymptome und ihre Entwicklung bei höheren pflanzen. Inang. Diss. Techn. Univ. Berlin.

50- Rajarantam, J.A., and L.I. Hock 1975. Effect of boron nutrition

on intensity of red spider mite attack on oil plam seedings. Expl. Agric. 11 : 59-63.

51- Ranga Reddy, P., and R. Sridhar 1975. Influence of potassium nutrition and bacterial blight disease on phenol, soluble carbohydrates and amino acid content in rice leaves. Acta Phytopath. Acad. Sci. Hung. 10 : 55-62.

52- Roorda. Van Eysing, J.F. 1966. Mineral fertilization, Yield and quality of vegetables. Intern. Kali-Symp., Brussel, Belgien. 216-233.

53- Schäufele, W.R. 1978. Phytosanitäre Effekte bei der Mineraldüngung von Zuckerrüben. Intern. Kali Briefe, Fachg. 23, 56, Folge: 1-5.

54- Scheffer, K., und H. Huntemüller 1974. Der Einfluss einer Düngung mit Mikronährstoffen and den Befall von Sommeryerste mit Mehltan (Erysiphe graminis). Landw. Forsch. 3011: Sonderh., 177-179.

55- Scholl, W., und H. Gehlker 1973. Boden-und Standortuntersuchungen zur Klärung der Ursache der Wurzwfäule des Spargels. Landw. Forsch. 28/ 1: sonderh ., 40-45.

56- Schütte, K.H. 1967. The influence of boron and copper deficiency upon infection by Erysiphe graminis D.C., the powdery mildew in wheat var.Kenya. Plant and Soil 37: 450-452.

57- Schutte K.H. 1946. The biology of the trace elements: their role in nutrition. Crosby lockwood & Sond ltd. London.

58- Shear, C.B. 1975. Calcium nutrition and quality in fruit crops. Comm. Soil Sci. and Plant Analysis 6: 233-244.

59- Talibudeen, O., M.B., und J.D.D Mitchell 1977. Wechselwirkungen zwischen der Stickstoff-und Kaliernahrung auf die Ertruge an Trockensubstanz und Sticksoff der Graminee Englisches Rayras (Lolium perenne). Intern. Kali-Briefe, Fachg. 7, 22. Folge: 1-7.

60- Thiagalingam, K. 1977. Beziehungen zwischen der Ernährung mit Mineralstoffen und Krankheiten von einigen Kulturpflanzen in Malaysia. Intern. Kali-Briefe, Fachg: 23, 52, Folge: 1-5.

61- Trolldenier, G. 1967. Einfluss der Mineralstoffernährung auf die Krankheitsresistenz unserer Getreidearten. Kali-Briefe. Fachg. 11.3 Folge, 1-40.
62- Tsyplenkov, A.E. 1974. The role of minor elements in diminshing the susceptibility of tomatoes to tobacco mosaic virus. Ref: Boron in Agriculture 106-12.
63- Tsyplenkov, A.E., and L. Fomin 1974. Bekämpfung von Virnskrankheiten der Tomaten mit spurenelementen .Züsctina rastenji. Moskva 18: 21-22.
64- Voisin, A. 1959. Boden und Pflanze. BLV Verlagsgesellschaft. München.
65- Wallace, A. 1962. A decade of synthetic chelating agents in inorganic plant nutrition. Publ. A. Wallace, Los Angeles, Calif. USA.
66- Wenzel, G. 1970a .Zusammenhänge zwischen Ernährungszustand und Rotfaulbefall der Fichte (Picea abies Karst.) Landw. Forsch: 25/I. Sonderh., 92-95.
67- Wenzel,G. 1970b.Beziehungen zwischen dem Ernährungszustand der Fichte (Picea abies Karst.) und dem Pilzhemm stoffgehalt ihres Bastes. Pflanzenern. u. Bodenkde. 127: 56-63.
68- Yaroshenko, T.V. 1967. Effect of trace elements on some biochemical processes in rye in relation to its resistance to stem smut. Mikroelem. Sel. Khoz. Med. Nr. 3: 57-63: Ref: Boron in Agriculture 94 (OKt. 1969): 16.
69- Zajonc, Ingrid 1971. Grundlagen u[illegible]itung des Problemorientierten Albaufplanes für eine schlagbezogene Mangan-Düngungsempfiehlung mittels EDVA im Rahmen des Teilmodells Mikronährstoffdüngung. Inaug. Diss. Sektion Meliorationsw. und pflanzenprod. Univ. Rostock.
70- Zajonc, Ingrid, W. Borchmann, und H. Gerath 1975 Über den Einfluss einer Mangan-Düngung auf die Ertrags-und Qualitätsbildung von winterraps (Brassica napus L. ssp. oleifera). Arch. Acker-u. Pflanzenb. u. Bodenkde. 19: 771-780.

الفصل السابع

1- Arnon, D.I. 1950. Functional aspects of copper in plants, P. 89-114, in Copper metabolism, The Johns Hopkins Press, Baltimore.

2- Arnon, D.I. and G. Wessel 1953, Vanadium as an essential element for green plants. Nature 172; 1039-1040.

3- Ayres, A.S. 1966, Calcium silicate slag as a growth stimulate for sugarcane on Low-silicon soils. Soil Sci. 101: 216-227.

4- Barrow, N.J. 1970. Comparison of the adsorption of molybdate, sulfate and phosphate by soils. Soil Sci. 109: 282-288.

5- Beevers, L. 1976, Nitrogen Metabolism in plants. Edward Arnold. London.

6- Berger, K.C. 1965, Introductory Soils. New York, Macmillan Co.

7- Bergmann, W., P. Bruchlos, H. Falke, et.al. 1978. Zum gegenwartigen Stand der Düngung mit Mikronährstoffen und ihrer Ertragswirksamkeit in der DDR. Arch. Acker-u. Pflanzenb. u. Bodenkde. 22: 309-316.

8- Bertrand, D. 1942. Vanadium as an essential trance element for Aspergillus niger. Ann. Inst. Pasteur. 68: 226-244.

9- Bishop, N.J. 1966, Partial reactions of photosynthesis and photoreduction. Ann. Rev. Physiol. 17: 185-208.

10- Boardman, N.K. 1975. Trace elements in photosynthesis, P. 199-212. In: Trace elements in Soil-Plant-Animal System. Nicholas, ED., EGAN D.J.D. and EGAN A.R. Academic Press.

11- Brag, H. 1972. The influence of potassium on the transpiration rate and stomatal opening in **Triticum aesitivum** and **Pisum sativum.** Physiol. Plant. 26: 250-257.

12- Brewer, R.F. 1966. Lead, P213-217. In H.D. Chapman: Diagnostic Criteria for Plants and Soils. Univ. of California, Div. of Agric. Sciences.

13- Broyer, T.C. 1966. Chlorine nutrition of tomato: observations on inadvertent accretion and loss and their implications. Physiol. plant. 19: 925-936.

14- Broyer, T.C. and P.R. Stout 1959. The macronutrient elements. Ann. Rev. plant Physiol. 10: 277-300.

15- Broyer, T.C., A.B. Carlton, C.M. Johson and P.R. Stout 1954. Amicronutrient element for higher plants. Plant Physiol. 29: 526-532.

16- Casper, H. 1975. Nitrate availability as a function of soil water content. Model experiments with young maize plants. Diss.

Fachbereich 19 Ernährungswissenschhaften. Justus Liebig Universität Giessen.

17- Chenery, M. 1955. A preliminary study of aluminium and the tea bush. Plant and Soil. 6: 174-200

18- Cheng, B.T. and G.J. Oullette 1973: Molybdenum as a plant nutrient. Soil and Fertilizers 36, 207-215.

19- Connell, W.E. and W.H. Patrick 1969. Reduction of sulfate to sulfide in waterlogged soil. Proc. Soil Sci. Amer. 33: 711-715.

20- Day, J.P., H. Hart and M.S. Robinson 1975. Lead in urban street dust. Nature 253: 343-345.

21- Delwiche, C.C. 1970. The Biosphere. Scientific Amer., P. 71-80, Inc. W.H. Freeman, San Francisco.

22- Dixon, N.E., C. Gazzola, R.L. Blakeley and B. Zarner 1975. Jack bean ureas (Ec 3.5. 1.5) a metalloenzyme. A simple biological role for nickel? J. Am. Chem. Soc. 97: 4131-4132.

23- Evans, H.J. and R.A. Wildes 1971. Potassium and its role in enzyme activation, p. 13-39. In: Potassium in Biochemistry and Physiology, Proc. 8th Colloqu. Potash Institute, Berne.

24- Fischer, R.A. and T.C. Hsiao 1968. Stomatal Opening in isolated epidermal strips of **Vicia faba** II. Responces to KCL concentration and the role of potassium absorption. Plant Physiol. 43: 1933-1938.

25- Fowden, L. 1967. Aspects of amino acid metabolism in plants. Ann. Rev. Plant. Physiol. 18: 85-106.

26- Ganje, T.J. 1966. Selenium, P. 394-404. In H.D. Chapman: Diagnostic Critēria for plants and Soils. Univ. of California, Div. of Agric. Sciences.

27- Ganssmann, W. 1962. Investigations into the influence of silicic acid on the uptake of phosphoric acid and other nutrients. Die Phosphorsäure 22: 223-241.

28- Hall, D.O., R. Cammack and K.K. Rao 1971: Role for ferredoxins in the origin of life and biological evolution. Nature 233: 136-138.

29- Halvorson, A.D. and Lindsay, W.L. 1977. The critical Zn^{2+} concentration for corn and the nonabsorption of chelated zinc. Soil Sci. Soc. Amer. J. 41: 531-534.

30- Hopkins, D.P. 1954. Vanadium as an essential element. World Crops. 6-8.

31- Hossner, L.R., J.A. Freeout and B.L. Folsom 1973. Solution phosphorus concentration and growth of rice (Oryza sativa L.) in flooded soils. Proc. Soil Soc. Amer. 37: 405-408.

32- Joham, H.J. 1953. Accumulation and distribution of molybdenum in the cotton plant. Plant physiol 28: 275-280.

33- Johnson, C.M. 1966. Molybdenum, P. 286-301. In: Diagnostic Criteria for Plants and Soils, ed. Chapman.

34- Johnson, C.M., P.R. Stout, T.C. Broyer and A,B. Carlton 1957. Comparative chlorine requirement of different plant species. Plant and Soil 8: 337-353.

35- Jones, L.H. P. and K.A. Handreck 1965. Studies of silica in the oat plant. III. Uptake of silica from soils by the plant. Plant and Soil 23: 79-96.

36- Judel, G.K. and W.Stelte 1972. Gefässversuche mit Gemüse Pflanzen zur Frage der Bleiaufnahme aus dem Boden. Pflanzenerähr. u. Bodenkde. 110: 421-429.

37- Kirbky, E.A. and K., Mengel 1976 .The role of magnesium in plant nutrition. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. H. 2: 209-222

38- Krauskopf, K.B. 1972. Geochemistry of Micronutrients . In: Micronutrients in Agriculture, P. 7-40. Soil Sci. Soc. of America, Madison USA.

39- Larsen, S. and A.E. Widdowson 1968. Chemical composition of soil solution. J. Sci. Fd. Agric. 19: 693-695.

40- Lehninger, A.L. 1975. Biochemistry, the Molecular Basis of Cell Structure and Function. Worth Publishers, Inc. New York.

41- Marschner, H. und A. Schropp 1977. Vergleichende Untersuchungen über die Empfindlichkeit von 6 Unterlagensorten der Weinrebe gegenüber Phosphatinduziertem Zink-Mangel. Vitis 16: 79-88.

42- Martin, J.P. 1966, Bromide, P. 62-64. In: H.D. Chapman; Diagnostic Criteria for Plants and Soils. Univ. of California, Div. of Agric. Sciences.

43- Massumi, A. 1967, Investigations into the molybdenum status of

plants and soils in Schleswig Holstein. Diss. der Landw. Fakultat d. Üniv. Kiel.

44- Mengel, K. and R. Pflüger 1969, The influence of several salts and several inhibitors on the root Pressure of **Zea mays**. Physiol. Plant. 22: 840-849.

45- Murphy, L.S. and L.M. Walsh 1972, Correction of micronutrient deficienies with fertilizer. In: Micronutrients in Agriculture, P. 347-387.

46- Nielson, F.H. 1971, Studies on the essentially of nickel, P. 215-255. In: W. Mertz and W.E. Cornatzer: Newer Trace Elements in Nutrition.

47- Nowakowski, T.Z. 1971, Effects of potassium and sodium on the contents of soluble carbohydrates and introgenous compounds in grass. P. 45-49. In: Potassium in Biochemistry and physiology. 8th Colloq. Intern. Potash Institute, Berne.

48- Okuda, A. and E. Takahashi 1965, The role of silicon, P. 123-146. In: The mineral Nutrition of the Rice Plant, Proc. Symp. Intern. Rice Res. Inst., John Hopkins Press, Baltimore USA.

49- Ozolina, G. and L. Lapina 1965, Effect of copper and nitrogen nutrition of maize and flax on dynamics of nucleic acids. Microelem. Proc. Rast. 75-102.

50- Pflüger, R. and K. Mengel 1972, The photochemical activity of chloroplasts obtained from plants with different potassium nutrition. plant and Soil 36: 417-425.

51- Pissarek, H.P. 1973, The development of potassium deficiency symptoms in spring rape. Z. Pflanzenerähr. Bodenk. 136: 1-96.

52- Possingham, J.V. 1956, Mineral nutrition and amino acids in tomato. Aust. J. Biol. Sci. 9: 539-551.

53- Rahimi, A. und W. Bussler 1975, Der Einfluss unterschiedlicher Zn-Gaben auf die Entwicklung von Mais. Landw. Forsch. 31/1 Sonderh.

54- Ralkov, L. 1971. Reclamation of solononetz soil in Bulgaria, P. 35-47. In: I. Szabolcs: European Solonentz soils and their reclamation. Akademiai Kiado, Budapest.

55- Reisenauer, H.M., L.M. Walsh and R.G. Hoeft 1973. Testing soils

for sulfur, boron, molybdenum and chlorine, P. 173-200. In: L.M. Walsh and J.D. Beaton: Soil Testing and plant analysis. Soil Sci. Soc. of America Inc., Madison Wisconsin.

56- Russel, E.W. 1973. Soil conditions and plant Growth. 10th Edition, Longman.

57- Scharrer, K. and K. Mengel 1960, On the transient occurrence of visible magnesium deficiency in oats. Agrochimica 4: 3-24.

58- Scheffer, F. and P. Schact schabel 1976. Texbook of Soil Science. 9th ed. F.Enke-Verlag, Stuttgart.

59- Schmitt, L. 1965. Die Spurennährstoffe in der moderner Düngerlehre. J.D. Sauerländer. Frankfurt-Main.

60- Schütte, K.H. 1964. The biology of the trace elements; their role in nutrition. Crosby lock-wood & Son Ltd., London.

61- Scott, N.M. and G. Anderson 1976. Organic sulphur fractions in scottish soils. J. Sci. Fd. Agric. 27: 358-366.

62- Shrift, A. 1969. Aspects of selenium metabolism in higher plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 20: 475-494.

63- Sims, J.R. and F.T. Bingham 1968. Retention of Boron by layer silicates, sesquioxides and soil materials: II. Sesuioxides. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32: 364-369.

64- Sippolia, J., R. Ervio and R. Eleveld 1973. The effects of simultaneous addition of ammonium and Potassium on their fixation in some Finnish soils. Ann. Agriculturae Fenniae 12: 185-189.

65- Smith, T.A. and Sinclair 1967. The effect of acid feeding on amine formation in barley. Ann. Bot. 31: 103-111.

66- Subba Rao, N.S. 1974. Prospects of bacterial fertilization in Iadia. Fertil. News 19: 32-36.

67- Swaine, D.J. 1955: The trace element content of soil. Soil Sci. Tech. Comm. No. 48. Herald Printing works, coney St., York. England.

68- Sywortkin, G.S. 1958. The boron content of plants with a latex system. Spurenelemente in der landwirschaft, 283-288, Academic-Verlag Berlin.

69- Tanaka, A. and S. Yoshida 1970. Nutritional disorders of the rice plant in Asia. IRRI Techn. Bull. 10.

70- Terman, G.L. and soil nitrogen by rye grass, as affected by carbonaceous residues. Proc. Soil Soc. Amer. 32: 86-90.

71- Terry, N. 1977: Photosynthesis growth and the role of chloride. Plant Physiol. 60: 69-75.

73- Vallee, B.L. and W.E.C. Wacker 1970. Metalloprotein: In: H. Neurath (ed.). The Proteins (2nd ed.), Vol. 5, Academic press, , New York, P. 192.

74- Viro, M. 1973. The effect of a varied nutrition with potassium on the translocation of assimilates and minerals in **Lycopersicon esculentum.** Diss. Fachberich 1 g Ernährungswisswnschaften, Justus- Liebig Universita Gissen.

72- Ulrich,A. and K. Ohki 1956. Chlorine, bromine and sodium as nutrients for srgar beet plants. Plant Physiol. 31: 171-181.

75- Walker, T.W., AF. R. Adams and H. D. Orchison 1955. The effects and interactions of molybdenum lime and phosphate treatments on the yield and composition of white clover grown on acid, molybdenum responsive soils. Plant and Soil 6: 201-220

76- Williams, E. G. 1959. Influences of parent material and drainage conditions on soil phosphorus relationships. Agrochimica 3: 279 .

77- Williams, E. G. 1970. Factors affecting the availability of soil phosphate and efficiency of phosphate fertilizers. Anglo-Soviet symposium on Agrochemical Research on the Use of Mineral Fertilizers. Moscow.

78- Yoshida, S., Y. Ohnishi and K. Kitagishi 1962. Chemical forms, mobility and deposition of silicon in rice plant. Soil Sci. Plant Ntr. 8: 1521.

الفصل الثامن

1- Cerling, V.V. 1971a. Pflanzendiagnose und biologische Qualität des Ertrages. Agochimija 5 : 135-148.

2- Cerling, V.V. 1971b. The diagnostics of plant nutrition. Proc. Intern. Symp. of Soil Fertility Evaluation, New Delhi. Nol. I:211-217.

3- Kühn, H. 1972. Das Erkennen von Nährstoffmangel. erscheinungen. In: Handb. der. Pflanzenern. u. Düngung, Bd. I, Zweite Hälfte, Springer, Wien, New York. P. 992-1006.

4- Salm-Horstmar, Furst Zu .1849. Versuche über die notwendigen

Aschenbestandteilen einiger Pflanzen Spezies. Journ. Frankt. Chem. 46: 193-211.

الفصل التاسع

1- Abel, G.H. 1969 . Inheritance of the capacity for chlorideinclusion and chloride exclusion by soybeans. Crop Sci. 9: 697-698.

2- Beadle, G.W. 1929. Yellow stripe-a factor for chlorophyll deficiency located in the prpr chromosome. Am Nataralist 63: 189-192.

3- Bell, W.D., L.Bogorad and W.J. Mc Ilrath. 1958. Response of the yellow-stripe mutant (ys_1) to ferrous and ferric iron. Bot. Gaz. 120: 36-39.

4- Bell, W.D., L.Bogorad and W.J.Mc Ilrath. 1962. Yellow-stripe phenotype in maize. I. Effects of ys_1 locus on uptake and utilization of iron. Bot. Gaz. 124: 1-8.

5- Bernard, R.L. and R.W. Howell. 1964. Inheritance of phosphorus sensitivity in soybeans. Crop Sci. 4: 298-299.

6- Brown, J.C., R.S. Holmes and L.O. Tiffin. 1958. Iron chlorosis in soybeans as related to the genotype of rootstalk. Soil Sci. 86: 75-82.

7- Martin, W.E., and Berry, L.J. 1970. Use of nitrogenous fertilizers on california rangeland. Proc. XI Internat. Grasslands Congress. P. 817-822.

8- Pope, D.T. and H.M. Munger. 1953a. Heredity and nutrition in relation to magmesium deficiency Chlorosis in celery. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 61: 472-480.

9- Pope, D.T. and H.M. Munger. 1953b. The inheritance of susceptibility to boron deficiency in celery. Proc. An. Soc. Hort. Sci. 61: 481-486.

10- Rodim, L.E., and Bazilevich, N.I. 1967. Production and Mineral Cycling in Terrestrial Vegetation. Oliver and Boyd. London.

11- Rorison, I.H. ed. 1969. Ecological Aspects of the Mineral Nutrition of plants. A. symposium of the British Ecological Society. Blackwell Scientific Publications. Oxford.

12- Shea, P.F., W.H. Gabelman and G.C. Gerloff. 1967. The

inheritance of efficiency in potassium utilization in snap beans, (**phaseolus vulgaris** L.) proc. Am. Soc. Hort. Sci. 91: 286-293

13- Shea, P.F., G.C. Gerloff and W.H. Gabelman. 1968. Differing efficiencies of potassium utilization in strains of snap beans, **Phaseolus vulgaris** L. Plant and soil. 28: 337-346.

14- Snaydon, R.W. 1962: Micro-distribution of **Trifolium repens** L. and its relation to soil factors. J. Ecol. 50: 133-143.

15- Wall, J.R. and C.F. Andrus. 1962. The inheritance and physiology of boron response in the tomato. Am. J.Bot. 49: 758-762.

16- Warner, R.L., R.H. Hageman, J.W. Dudley, and R.J. Lambert. 1969. Inheritance of nitrate reductase activity in **zea mays** L. proc. Nat. Acad. Sci. 62: 785-792.

17- Weiss, M.G. 1943. Inheritance and physiology of efficiency in iron utilization in soybeans. Genetics 28: 253-268.

General References المراجع العامة

أولاً ـ المراجع العربية

1 ـ الريّس ، عبد الهادي . .تغذية النبات
الجزء الثاني . بغداد العراق

2 ـ النعيمي ، سعد الله نجم . 1984 . مبادىء تغذية النبات كتاب مترجم
للمؤلفين مينكل وكيربي
مطبعة جامعة الموصل ـ العراق

3 ـ بلبع عبد المنعم 1973 . خصوبة الاراضي والتسميد دار المطبوعات
الجديدة . الاسكندرية . جمهورية مصر العربية

4 ـ كاظم عبد العظيم محمد 1977 . مبادىء تغذية النبات .

ثانياً : المراجع الاجنبية

1- Bergmann, W. 1983. Ernahrungsstorungen bei Kultur-pflanzen. VEB Gustav Fischer Verlag Jena DDR. Black, C.A. 1967. Soil-plant Relationships, second edition. John Wiley and Sons, Inc. New York-London Sedney.

2- Bowen, H.H.M. 1966. Trace elements in Biochemistry. New York, Academic Press.

3- Epstein, E. 1972: Mineral nutrition of plants, principles and perspectives. John Wiley and Sons, Inc. New York.

4- Hodgson, J.F. 1963: Chemistry of micronutrient elements in soil. Advan. Agron. J. Res. Agr. Soc., 124, 75-86.

5- Mengel, K. 1968: Ernahrung und Stoffwechsel der pflanze. Dritte Auflage. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart.

6- Mengel, K. 1972: Ernahrung und Stoffwechsel der Pflanze. Vierte Auflage. Custav Fischer Verlag. Stuttgart.

7- Mengel, K. and E.A. Kirbky 1982: Principles of Plant Nutrition. 3rd edition. International Potash Institute Bern, Switzerland.

8- Schnitzer, M. and Kahn, S.U. 1978: Soil organic matter, developments in soil science 8, Elsevier scientific publishing company. Amsterdam, Oxford, New York.

9- Schutte, K.H. 1964: The Biology of Trace Elements: Their Role in Nutrition, lockwood, C., London.

10- Swaine, D. 1955: Trace Element content of soil; Commonwealth Bur. Soil Sci, No. 48, England.

11- Tisdale, S. and W. Nelson 1975: Soil Fertility and Fertilizers. 3rd edition. Collier Macmillan Int. editions.

12- Wallace, T. 1957: Trace Elements in Plant Nutrition. J. Roy. Soc. of Arts, 105.